

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA
OSTRAVA

Hornicko-geologická fakulta
Institut geologického inženýrství

Možnosti analýzy vodní bilance povodí Odry v GIS

Water Balance Analysis Possibilities of the Odra Catchment with the
GIS Suport

Autor: Loan Nguyen Thi Tú

Vedoucí bakalářské práce: doc. RNDr. Jan Unucka, Ph.D.

Ostrava 2014

Prohlášení

- *Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci včetně příloh, vypracovala samostatně. A uvedla jsem všechny použité zdroje a literaturu.*
- *Byla jsem seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.*
- *Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).*
- *Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.*
- *Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.*
- *Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).*

V Ostravě dne 29. 4. 2014

Loan Nguyen Thi Tú

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce, panu doc. RNDr. Janu Unuckovi, Ph.D. za poskytnutí svého času ke konzultacím, za zdrojová data, cenné rady, ochotu a pomoc k vypracování bakalářské práce.

Také své rodině, příteli a nejbližší přítelkyni děkuji za podporu během studia.

ANOTACE

Tato bakalářská práce se věnuje možnostem analýzy vodní bilance pomocí softwaru GIS. Vodní bilance se bude analyzovat pro povodí Odry po Opavu. Na úvod je vybrané povodí charakterizované z přírodního hlediska. Následující část bakalářské práce je zaměřena na seznámení se s vodní bilancí, srážko-odtokovým procesem a jeho modelováním. Dále následuje popis použitých nástrojů k určení vodní bilance a jednotlivé analýzy. A v závěru je zhodnocení práce.

Klíčová slova: Povodí Odry, GIS, GRASS GIS, SAGA GIS, dmt, vodní bilance, CLC 2006, srážko-odtokový proces

Summary

This bachelor thesis deals with the water balance analysis possibilities with the GIS software support. The water balance is going to be used for the Odra catchment up to the confluence with Opava river. The introduction of this thesis describes selected catchment from a geological, geomorphological and also from a hydrological point of view. Next part of this work focuses on a description of water balance, rainfall-runoff process and its modeling. In the next part I'm describing software that were used for this thesis and various spatial and hydrological analyses. The end is mainly about summary of this work.

Key words: The Odra catchment, GIS, GRASS GIS, SAGA GIS, dmt water balance, CLC 2006, rainfall-runoff process

1. Úvod.....	7
2. Popis a vymezení povodí Odry	8
2.1. Vymezení území	8
2.2. Geomorfologické a geologické poměry	9
2.3. Hydrologické poměry.....	13
2.4. Klimatické poměry.....	16
2.5. Pedologické poměry.....	18
2.6. Krajinový pokryv	20
3. Vodní bilance	23
3.1. Odhad potenciální evapotranspirace	25
3.2. Srážko-odtokový proces.....	25
4. Srážko-odtokové modelování.....	28
4.1. Vstupní data	28
5. Popis programových prostředků	29
5.1. Metoda SCS-CN	29
5.2. ArcGIS	30
5.2.1. Metoda výpočtu CN křivky v GIS	31
5.3. GRASS GIS	33
5.3.1. Výpočet LS faktoru	33
5.4. SAGA GIS	35
5.4.1. Určení vlhkostního indexu	35
6. Srážko-odtoková epizoda 1. – 30. září 2007	38
7. Závěr	42
Informační zdroje.....	43
Seznam obrázků	46
Seznam grafů.....	46
Seznam tabulek	47

Seznam zkratek

České zkratky

CN křivky	Číslo odtokové křivky
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
DMT	Digitální model terénu
HSP	Hydrologická skupina půd
CHKO	Chráněná krajinná oblast
RVK	Retenční vodní kapacita
S-O	Srážko-odtokový
VÚMOP	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy
VÚV T. G. Masaryka	Výzkumný ústav vodohospodářského T. G. Masaryka

Cizojazyčné zkratky

ASCII	American Standard Code for Information Interchange
CLC 2006	Corine Land Cover 2006
CN	Curve number
GRASS GIS	Geographical Resources Analysis Support System
GIS	Geographic Information System
SAGA GIS	System for Automated Geoscientific Analyses

1. Úvod

Již v dobách prvních vyspělých států, či národů, ať už to byla Starověká Mezopotámie nebo Starověcí Egypťané, se vědělo, že je nutné hospodařit s vodou. Za účelem rozvoje zemědělství, průmyslu a dalších odvětví nutné pro funkčnost státu se „pozoroval“ stav vody.

Vztah vodního hospodářství a společnosti se vyvíjel a nadále vyvíjí. V dřívějších dobách využívalo obyvatelstvo vodu, jak již bylo výše uvedeno, jako užitkovou. Ta byla nutná jak v oblasti průmyslu, tak i zemědělství a v mnoha dalších odvětvích. S postupujícím časem se však došlo k závěru, že dané množství vody, pro pokrytí potřeby, není dostačující. V důsledku toho vznikl obor vodní hospodářství a nejrůznější vodohospodářské organizace a stavby. Primárním cílem bylo prozkoumat, chránit a spravovat vodní díla.

Ne jinak tomu bylo i v oblasti povodí Odry. První osídlování v oblasti povodí nastal však až ve 12. a 13. století. Důvodem pozdního osídlení byl její členitý terén. Vodní toky v tomto povodí nebyly člověkem tolik dotčeny až do 19. století. Teprve až s rozvojem důlního průmyslu se více dbalo na sledování vodního stavu a řeky se začaly podle potřeby upravovat a narovnávat.

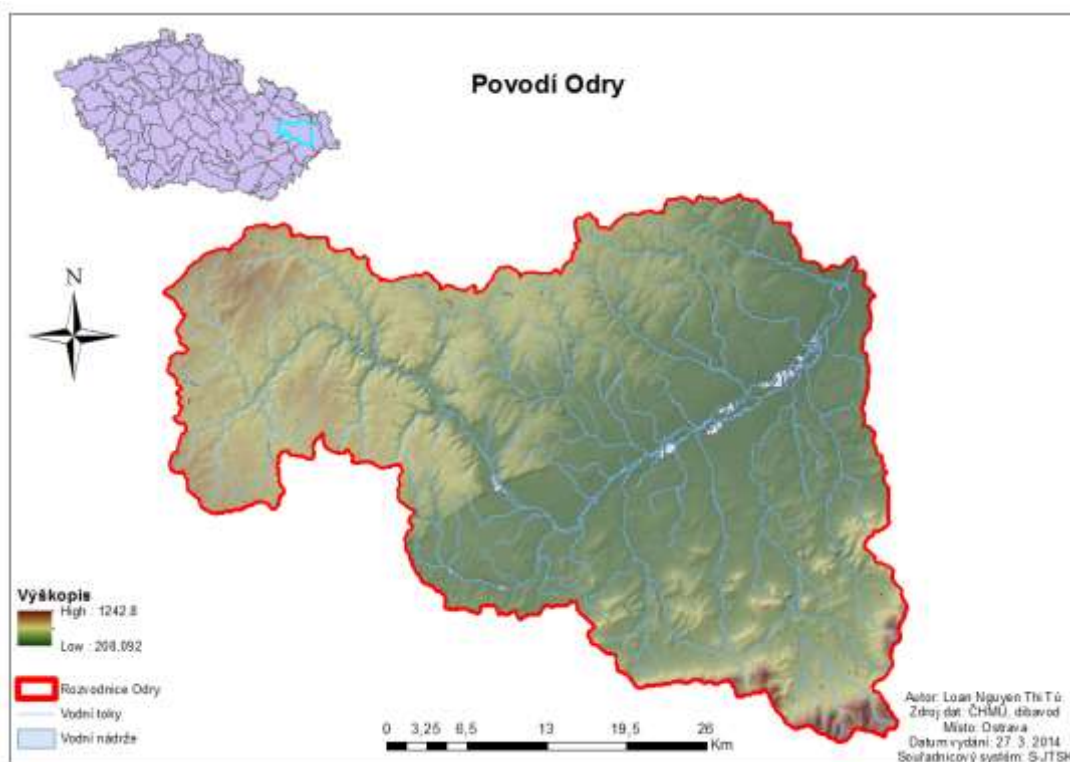
I dnes tomu není jinak. S postupujícím časem se nadále sleduje a stanovuje tzv. vodní bilance. S pomocí vodní bilance se zjišťuje přírůstek a úbytek vody, změny vodních zásob daného povodí nebo daného území za určité období. Vodní bilance dále porovnává podmínky pro odběry povrchových a podzemních vod a vypouštění odpadních vod s využitelnou kapacitou vodních zdrojů z hledisek kvality a kvantity vody.

Toto téma jsem si zvolila, protože se jedná o území, které mi není úplně cizí a také proto, že v této bakalářské práci využiji software GIS. Tento program je s každým novým dnem, čím dál více využíváný a nejedním oborem. Proto, v následujících stránkách, bude popis GIS a také zde budou zobrazeny výstupy. Dalším a zároveň posledním důvodem výběru tohoto tématu, je téma voda. Je zajímavé, že voda je na jednu stranu pro člověka nezbytně důležitá a na tu druhou stranu je také nebezpečná. Způsobuje nejen povodněmi a záplavami smrt nemálo lidí...

2. Popis a vymezení povodí Odry

2.1. Vymezení území

Část povodí Odry po Opavu, která bude zanalyzována v této práci, je zobrazena níže. Jedná se o výstup z programového prostředí ESRI ArcGIS. Toto zájmové území se nachází ve východní části České republiky, konkrétněji se rozkládá na území okresů Ostrava, Opava, Olomouc, Frýdek Místek a Nový Jičín. Tato část dílčího povodí je povodí třetího řádu s hydrologickým číslem pořadí 2-01-01. Celková plocha povodí Odry po Opavu činí 1615 km² [16]. Nejvyšší bod s nadmořskou výškou 1 242 m. n. m. je Kněhyně v Beskydech a nejnižší bod dílčího povodí je u soutoku řek Odry s Opavou. Hlavní tok Odra pramení v Oderských vrších, v Bohumíně se stéká s řekou Olše a ústí do Baltského moře.



Obrázek 1 Mapa povodí Odry

2.2. Geomorfologické a geologické poměry

Oblast povodí Odry se rozkládá na rozhraní Hercynského a Alpinského systému. Do povodí zasahují dvě provincie a to Česká vysočina a Západní Karpaty. Zasahuje tu i nížina ta však tvoří pouze okraj oblasti Slezské nížiny. Subprovincie Vněkarpatské sníženiny rozdělují povodí z morfologického hlediska na východní a západní část. Z geomorfologické oblasti zvané Západní Vněkarpatské sníženiny zasahuje na zájmové území, protáhlého tvaru ze směru severovýchod na jihozápad geomorfologický celek, zvaný Moravská brána. Směrem na severozápad a západ se rozprostírá Nízký Jeseník. Zbytek území, tedy ve směru jih a jihovýchod je tvořené Podbeskydskou pahorkatinou a částí Moravskoslezských Beskyd.

Moravská brána je příkopová propadlina a rozkládá se mezi městy Přerov a Běloutín. Vznikla v období miocénu. Podloží tohoto celku je tvořeno devonskými a karbonskými sedimenty, na něž se ukládají bazální klasty a pelity. Geologická pestrost je dána umístěním mezi Českým masivem a Karpatami (Janoška, 1998). Moravská brána je tvořena Bečevskou bránou, Oderskou bránou. Bečevská brána je tvořená neogenními sedimenty. Nadmořská výška je od 205 do 366 m n. m. [13; 12]. Moravská brána je ve směru jihozápad až jihovýchod, obklopená horniny terciárního stáří, tedy pískovci a břidlicemi, které byly alpínsky zvrásněné.

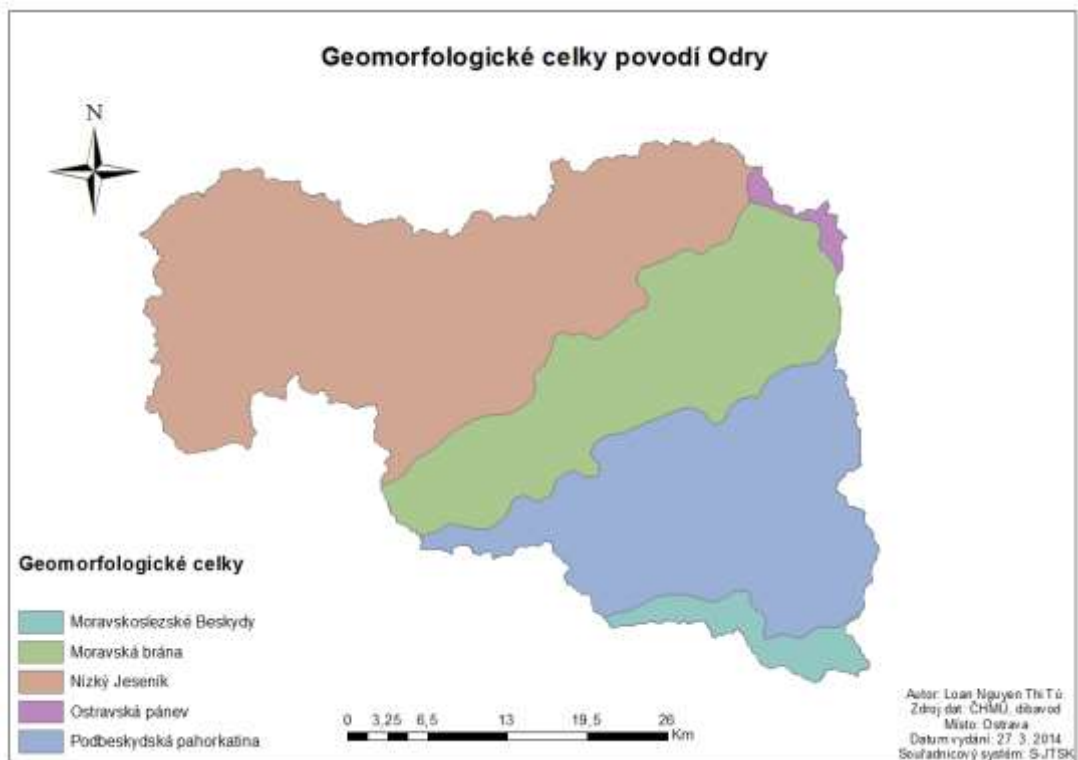
Nízký Jeseník zabírá největší plochu v povodí Odry po Opavu a vyznačuje se táhlými a zaoblenými hřbety se širokými sedly. Tato oblast je charakteristická svými hluboce zaříznutými údolními s bystrinami. Díky extrémně mrazivému klimatu, zde docházelo k tvorbě zajímavých půdních útvarů, jako jsou kamenná moře na Břidličné, Borku, atd. Na předpolí Nízkého Jeseníku působil kontinentální a částečně horský ledoec, který vytvořil kary a nivační deprese a sníh tu i v současnosti a Holocénu odtává až v červenci. Podloží tohoto území je tedy nepropustné a vznikly tu rašeliniště, v době poledové [8]. Tento celek je tvořen Oderskými vrchy, Domašovskou vrchovinou a Vítkovskou vrchovinou. V oblasti Nízkého Jeseníku jsou zastoupeny 1 km mocný sled jílových a prachových břidlic a drob a na východě převažuje kulm, který je z petrografického hlediska tvořen souborem klastických sedimentů, zejména černými jílovitými břidlicemi [16; 19]. Vrchovina Nízkého Jeseníku je tvořena břidlicemi ze

spodního karbonu. V údolích se místy vyskytují mořské sedimenty z badenu nebo i sedimenty pleistocenního kontinentálního zalednění (Janoška, 1998) (Weissmannová a kol., 2004). V mladších prvohorách, ve starším karbonu-kulmu bylo území zatopeno mělkým mořem [10]. Ke konci paleozoika byla střední Evropa zasažena variským vrásněním, v důsledku tohoto procesu byly horniny tvarovány a přeskupovány. Celá oblast Nízkého Jeseníku byla vyzvednuta.

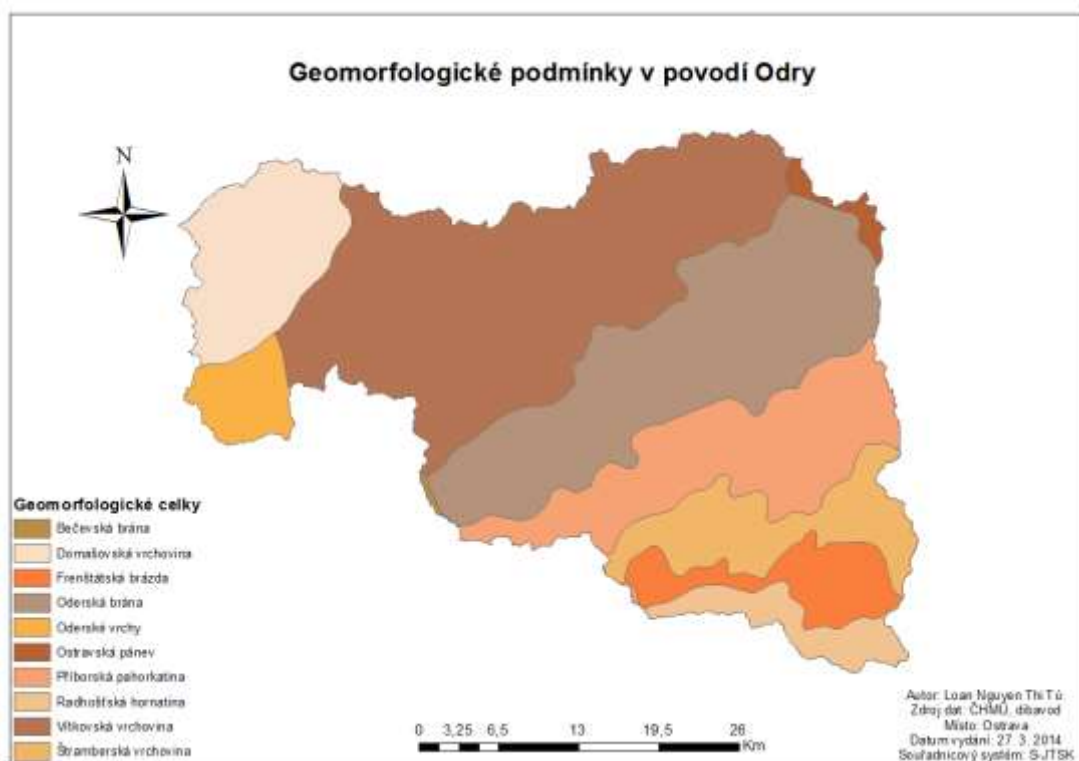
Moravskoslezské Beskydy jsou největším a nejvyšším pohořím karpatské soustavy. Povrch je členitý a nejvýše položené místo Beskyd je Lysá Hora s 1323 m n. m. Celý masív je budován flyšovým souvrstvím i vlastních godulských vrstev slezského příkrovu. Flyšové souvrství, nebo pásmo, je zóna, kde dochází k rytmickému střídání vrstev jílovců a pískovců. Godulské vrstvy jsou tvořeny nazelenalými pískovci [12].

Posledním větším geomorfologickým celkem, v dílčím povodí Odry, je Podbeskydská pahorkatina. Její reliéf je značně členitý, nejvyšší bod území je Skalka, která dosahuje výšky 946 m n. m. Oblast se vyznačuje rozmanitou geologickou stavbou, která se skládá z křídových a paleogenních flyšových souvrství. Dále se zde objevují vyvřelé horniny těšínitu a kry jurských vápenců a rovněž horniny typu čedič, fonoloty a tufy (Chlupáč & kolektiv, 2002). Podbeskydská pahorkatina je tvořena těmito geomorfologickými podcelky – Příborská pahorkatina, Štramberská vrchovina, a Frenštátská brázda.

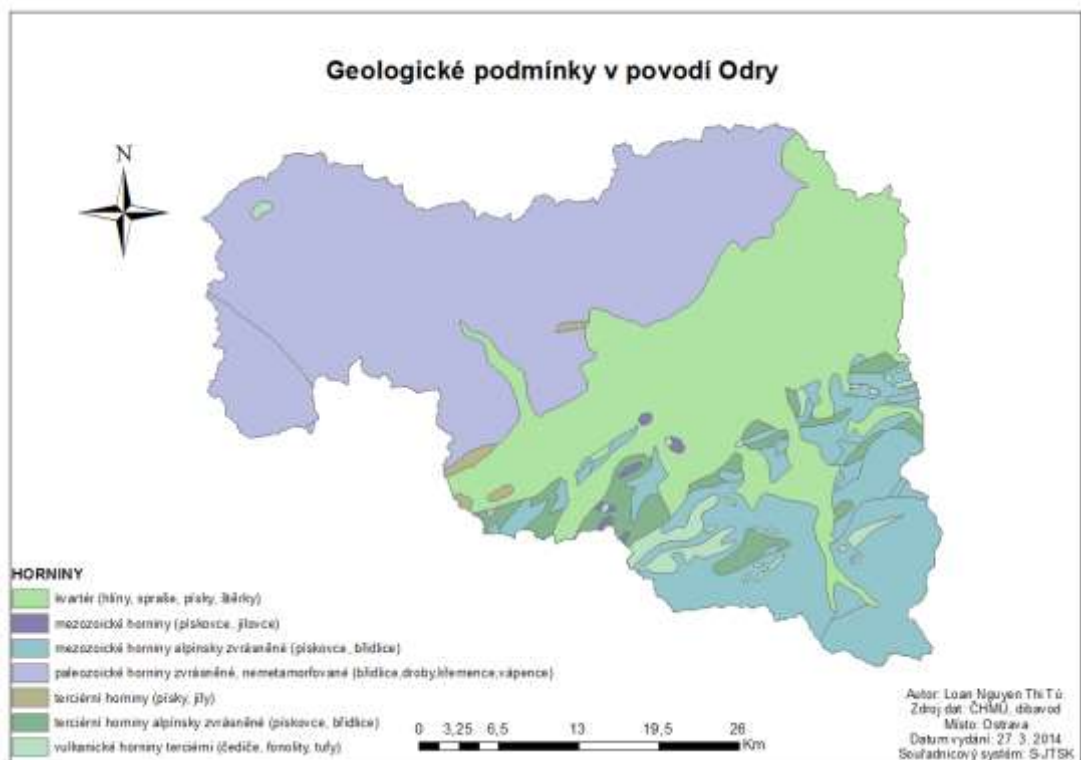
Do povodí, ve směru severovýchod, zasahuje nepatrná část Ostravské pánve. Také jako Moravská brána leží na rozhraní Českého masívu a Západních Karpat. V podloží pánve je brunovistulikum s devonskými a spodnokarbonskými sedimenty. Je známo, že v oblasti pánve vznikly černouhelné sloje.



Obrázek 2 Geomorfologické celky povodí Odry



Obrázek 3 Geomorfologické členění povodí Odry



Obrázek 4 Geologické podmínky povodí Odry

2.3. Hydrologické poměry

Pro povodí Odry je charakteristické sídelní a hlavně průmyslová aglomerace. Přirozená vodnost vodní sítě je podprůměrná oproti hustotě osídlení a průmyslové výroby. Na zdroje povrchových a i podzemních vod je tento region poměrně chudý. Povodí Odry je tvořeno především menšími toky a jeho říční struktura prošla dlouhým a komplikovaným vývojem, mj. v důsledku kolísání klimatu v kvartéru (Němec; Kopp, 2009)

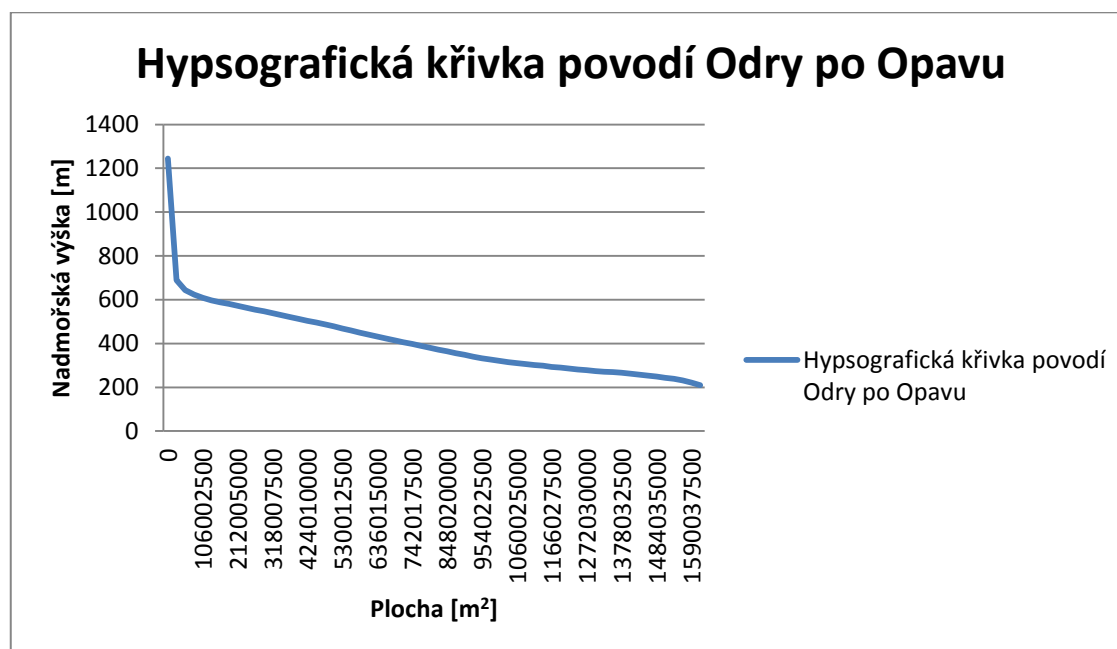
Z morfologického a orografického hlediska je území rozděleno do dvou odlišných celků, kdy beskydské toky mají dvojnásobně větší sklon než jesenické toky. I když jsou beskydské toky kratší, tak při větších vodnostech způsobují problémy spojené s povodněmi. Průměrný roční úhrn srážek je 825 mm, v horských oblastech může dosahovat až přes 1000 mm. Celkový odtok je nerovnoměrný a poměrně velký vyjádřeno koeficientem odtoku. Ne nadarmo se České republice říká střecha Evropy. Plocha povodí je 1 614,7 km² [16]. Dlouhodobý průměrný průtok je 43 m³.s⁻¹ (Němec; Hladný; aspol., 2006). Jak vypadá podélný profil údolí řeky Odry, je znázorněno v příloze grafu č. 1.

Nejdůležitější řekou protékající dílčím povodím Odry, je stejnojmenná řeka, podle které byla tato oblast pojmenována. Řeka Odra pramení v Oderských vrších, ve vojenském výcvikovém prostoru, zvané Libavá. V nadmořské výšce 633 m n. m. odtéká jihovýchodním směrem a u obce Bernatice n. Odrou protéká směrem k severovýchodu. Řeka Odra tvoří státní hranici s Polskem, dlouho 8km. České území opouští bod Bohumínem u Kopytova v nadmořské výšce 190 m n. m [17]. Od pramene po ústí protéká řeka krajinou, člověkem skoro nedotčenou. Přímo na celém toku Odry není vybudována žádná nádrž, až na jednoúčelovou vojenskou nádrž u Barnova. Největší odtok řeky, nastává v jarních měsících a činí zhruba 40% ročního odtoku. Podíl ostatních ročních období je v tomto povodí vyrovnaný a představuje 20% ročního odtoku (Meduňová, 2012).

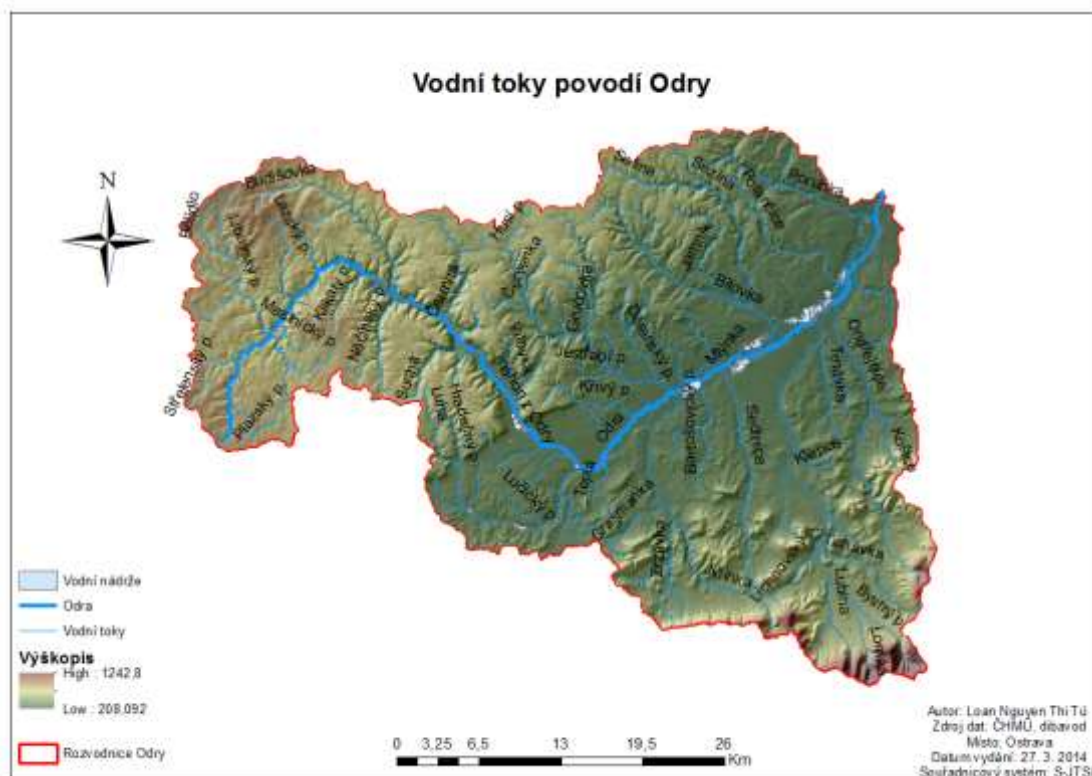
Mezi pravostranné přítoky řeky Odry v tomto území patří Plazský potok, Mlovanský potok, Klikatý potok, Něčinský potok, řeka Suchá, Dobešovský potok, řeka Teplá, řeka Jičinka, Hukovický potok, řeka Sedlnice, řeka Trnávka, řeka Ondřejnice atd. K levostranným přítokům řek Odry patří Střelenský potok, Libavský potok, Lazský potok, řeka Budišovka, řeka Čermná, řeka Vítovka, Křivý potok, řeka Bílovka, řeka Porubka atd.

V minulosti se na tocích prováděly stabilizační úpravy, většinou to byly stavby typu odhánky, výhony či podélné stavby, které fixovaly trasy vodních toků nebo sloužily k zamezení i změnám hranic. Nejdelším, neupraveným tokem v povodí je úsek samotné řeky Odry nad Ostravou až po město Odry, nacházející se v území CHKO Poodří (Němec; Kopp, 2009).

Rybniční soustavy se začaly stavět zhruba ve 14. století. V minulosti byly hojně stavěny a lidé využívali jejich akumulační prostory pro rybochovné účely, pro pohánění mlýnů, hamrů a pil. Od 17. století došlo k částečné likvidaci rybníků, docházelo totiž k rozvoji zemědělství a později k průmyslové revoluci. V nivní oblasti řeky Odry, se nacházejí rybníční soustavy Jistebnické, Studenecké a Bartošovické. Jistebnická rybníční soustava je nejvýznamnější soustavou v povodí. Nachází se na středním toku Odry v CHKO Poodří. Některé části slouží jako biotop, neboli soubor živých a neživých činitelů, vytvářející životní prostředí pro organismy. Celková rozloha Jistebnických rybníků je 462 ha a soustava je tvořena 47 rybníky, sloužící k rybochovným účelům (Němec; Hladný; aspol., 2006).



Graf 1 Hypsografická křivka povodí Odry



Obrázek 5 Vodní toky v povodí Odry

2.4. Klimatické poměry

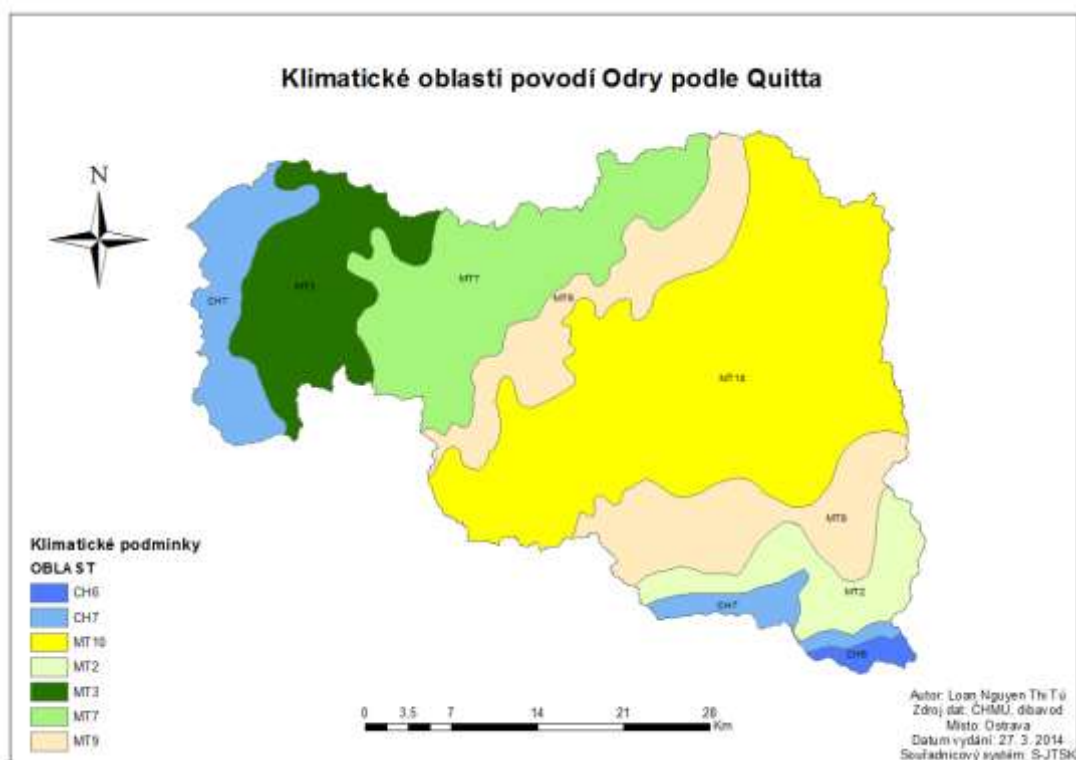
V zájmovém území povodí se vyskytují 7 klimatických oblastí, které byly klasifikovány podle E. Quitta. Povodí se vyznačuje jak mírně teplým, tak i chladnými oblastmi. V západní části se rozprostírá oblast CH7, na ní navazuje oblast označená MT3, dále MT7 a poslední oblast patřící do Jesenického celku a částečně zasahující do Moravské brány je oblast MT9. Celá oblast Moravské brány, spolu s úzkým pruhem Ostravské pánve a části Podbeskydské pahorkatiny, spadá do klimatické oblasti MT10. V Podbeskydské pahorkatině se také nacházejí klimatické oblasti MT9, MT2. Jižní část povodí se nachází v klimatických oblastech CH7 a CH6. Průměrný roční úhrn srážek za období 1961 až 1990 je 818,1 mm, maximální úhrn je 1372,3 mm. Na srážky je nejbohatší červen a naopak nejchudší leden (Němec; Kopp, 2009).

Charakteristika klimatických oblastí je uvedeno v následující tabulce.

Klimatické charakteristiky	Klimatické oblasti						
	CH6	CH7	MT2	MT3	MT7	MT9	MT10
Počet letních dnů	10-30	10-30	20-30	20-30	30-40	40-50	40-50
Počet dnů s průměrnou teplotou 10°C a více	120-140	120-140	140-160	120-140	140-160	140-160	140-160
Počet mrazových dnů	140-160	140-160	110-130	130-160	110-130	110-130	110-130
Počet ledových dnů	60-70	50-60	40-50	40-50	40-50	30-40	30-40
Průměrná teplota v lednu (°C)	-4 - -5	-3 - -4	-3 - -4	-3 - -4	-2 - -3	-3 - -4	-2 - -3
Průměrná teplota v červenci (°C)	14-15	15-16	16-17	16-17	16-17	17-18	17-18
Průměrná teplota v dubnu (°C)	2-4	4-6	6-7	6-7	6-7	6-7	7-8
Průměrná teplota v říjnu (°C)	5-6	6-7	6-7	6-7	7-8	7-8	7-8

Prům. počet dnů se srážkami > 1 mm	140-160	120-130	120-130	110-120	100-120	100-120	100-120
Srážkový úhrn ve veget. období (mm)	600-700	500-600	450-500	350-450	400-450	400-450	400-450
Srážk. úhrn v zim. období (mm)	400-500	350-400	250-300	250-300	250-300	250-300	200-250
Počet dnů se sněh. pokrývkou	120-140	100-120	80-100	60-100	60-80	60-80	50-60
Počet dnů zamračených	150-160	150-160	150-160	150-160	120-150	120-150	120-150
Počet dnů jasných	40-50	40-50	40-50	40-50	40-50	40-50	40-50

Tabulka 1 Klimatické oblasti v zájmovém povodí Odry dle E. Quitta. Převzato a upraveno podle [9].



Obrázek 6 Klimatické oblasti povodí Odry

2.5. Pedologické poměry

Půda je přírodní útvar, který vznikl z povrchových zvětralin zemské kůry a z organických zbytků, působením půdotvorných činitelů. Půda představuje životní prostředí pro půdní organismy a rostlinstvo, slouží k pěstování kulturních rostlin, reguluje koloběh látek, dále může být také uložištěm, ale i zdrojem potenciálně nebezpečných látek. Jedná se o dynamický systém, který se neustále vyvíjí [14].

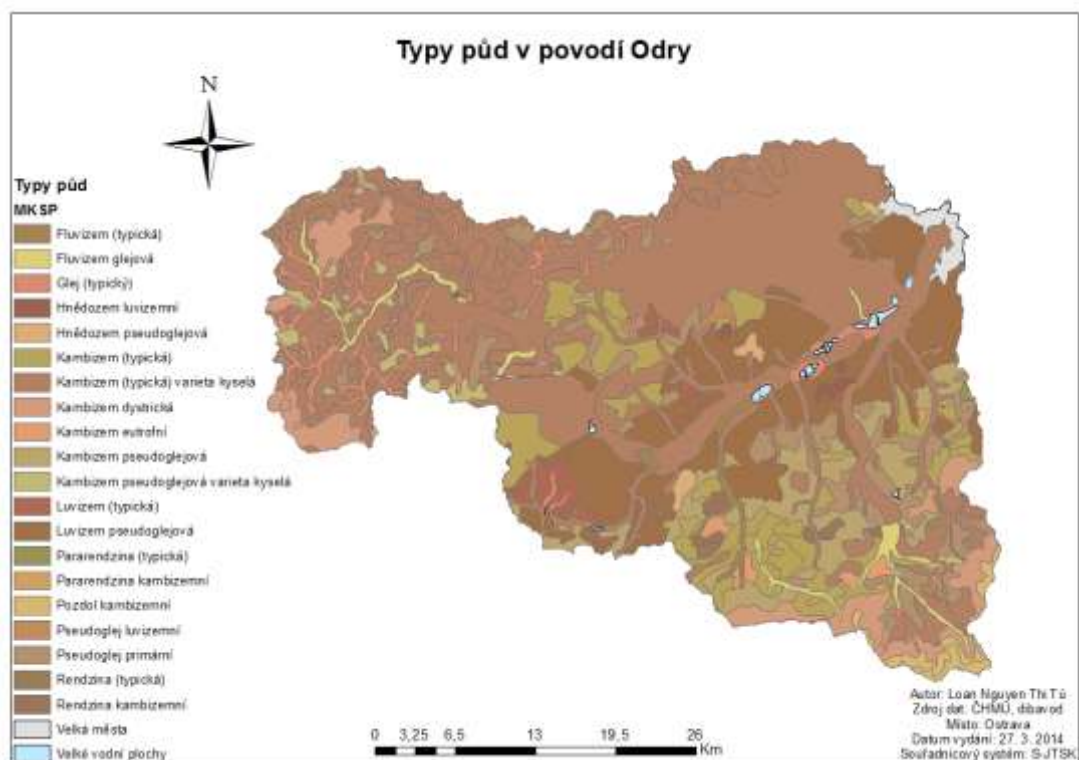
V tomto zájmovém území převládá kambizem, luvizem, podzoly a pseudogleje. Zmiňované typy půd mají v zájmovém území dominantní výskyt. Ostatní typy půd mají v povodí výskyt menší než 5%

Kambizem, neboli, hnědá půda, hnědá lesní půda, se vyznačuje chemickým zvětráváním prvotních minerálů, při kterém se uvolňují prvky železa, manganu a hliníku. Tento typ půdy se vyskytuje převážně v pahorkatinách, vrchovinách a hornatinách. Kambizem má vysokou pórovitost a dobrou vnitřní drenáž. V povodí Odry se nacházejí v především v oblasti Jeseníku a Beskyd.

Luvizem je typ půdy, u kterých dochází k vymývání jílu do akumulárního horizontu. Pro luvizem je charakteristická dobrá pórovitost a její horizonty jsou dobře provzdušněné. Na těchto půdách se původně dařilo listnatým stromům. Tento typ půdy je náchylný k erozi a nacházejí se spíše v rovinách nebo mírně zvlněném reliéfu.

Podzoly se nacházejí ve vysokých polohách pod jehličnatými lesy, s oligotrofními rostlinami, jako jsou vřesy a borůvky, v podrostu. Podzoly jsou charakteristické přítomností našedlého až vyběleného podpovrchového horizontu a vyskytují se v horských oblastech, převážně v oblasti nízkého Jeseníku a Oderských vrchů.

Posledním rozšířeným typem půd je pseudoglej. Pseudoglej se tvoří na sedimentech s vyšším obsahem jílu, především v rovinách. Půda je méně úrodná a je využívána pod trvalé travní porosty [16].



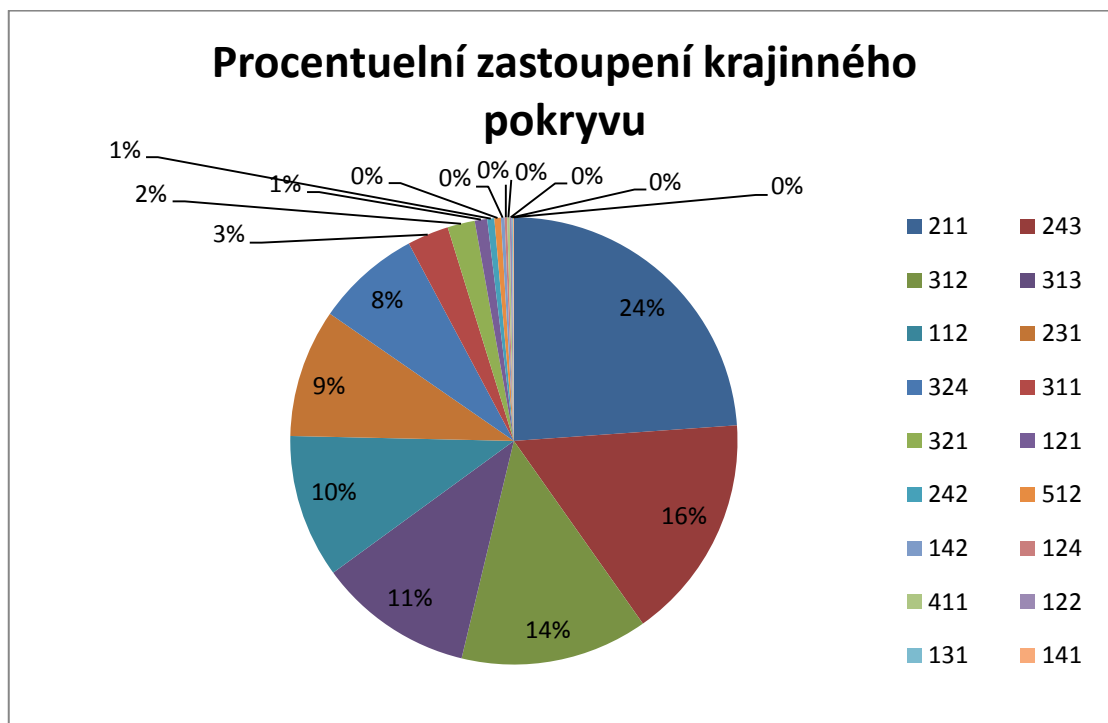
Obrázek 7 Typy půd povodí Odry

2.6. Krajinný pokryv

Pro charakteristiku krajinného pokryvu pro povodí Odry po Opavu se využila databáze CORINE Land Cover 2006 (CLC 2006). CLC je databáze dat o územní využití a jeho změnách v Evropě od roku 1990. Tento projekt je vytvářen samostatnými státy [1].

Krajinný pokryv ovlivňuje zejména hydrologickou transformaci na povodí. Vliv vegetace se dělí na vliv, který je způsobený přímým uplatněním krajinného pokryvu ve srážko-odtokových vztazích. Druhou, neméně důležitou, je funkce krajinného pokryvu jako ochranný faktor půdy. Pro utlumení povodňových vln, slouží lesní porosty. Tento faktor je však závislý na plošné rozmístění lesa, druhové a věkové skladbě lesních porostů. (Meduňová, 2012).

V povodí je nejvíce zastoupená nezavlažovaná orná půda, která má CORINE kód 211. Druhý nejrozšířenější krajinný pokryv, jenž má kód 243 je zemědělská plocha s přirozenou vegetací, za níž následuje krajinné pokryvy s kódy 312, 313, 112, 231, atd. Viz. graf 2.



Graf 2 Krajinný pokryv



Obrázek 8 Krajinný pokryv

Krajinný pokryv (Kód CORINE)	Faktor C
Nesouvislá městská zástavba (112)	0,03
Průmyslová nebo komerční plocha (121)	0,03
Silnice a železniční tratě (122)	0
Těžba nerostných surovin (131)	0
Skládky (132)	0
Staveniště (133)	0,03
Městská zeleň (141)	0,03
Sportovní a rekreační plochy (142)	0,01
Nezavlažovaná orná půda (211)	0,2
Ovocný sad (222)	0,45
Pastviny (231)	0,05
Komplexní systémy kultur a parcel (242)	0,25
Zemědělská plocha s přiroz. vegetací (243)	0,1
Listnatý les (311)	0,009
Jehličnatý les (312)	0,004
Smíšený les (313)	0,007
Nízký porost v lese (324)	0,01
Mokřad (411)	0,05
Vodní plochy (512)	0

Tabulka 2 Vysvětlivky ke kódům CORINE převzato z prezentace Ing. Kožaně

3. Vodní bilance

Hospodařit se dá s něčím, o čem je známo, v jakém množství a s jakou dostupností je k dispozici (Němec; Hladný; aspol., 2006).

Vodní bilancování je v současné době důležitou analýzou, která slouží vodohospodářským organizacím, aby zajistily vodu pro odběratele. Způsob sestavení a obsah bilance, udává vodní zákon č. 254/2001 Sb. vyhláška vydaná Ministerstvem zemědělství č. 431/2001. Vodní bilance je složená z hydrologické bilance a z vodohospodářské bilance. Hydrologickou bilanci sestavuje ČHMÚ, vodohospodářskou bilanci pro daný region a dané povodí sestavují podniky, které spravují povodí. Ve finální fázi, konečnou podobu, zajišťuje Ministerstvo zemědělství společně s Ministerstvem životního prostředí za pomoci VÚV T. G. Masaryka [6]. Vodní bilance se od roku 2004 stanovuje každým rokem a vstupními údaji jsou data naměřené, vypořizované za časový interval, také zvaný jako, hydrologický rok. Hydrologický rok začíná prvním listopadovým dnem, tj. 1. 11., a končí posledním říjnovým dnem, tj. 31. 10., nadcházejícího roku.

Výstupy, získané z hydrologické bilance, zahrnují informace o:

- atmosférických srážkách
- celkovém odtoku
- základním odtoku
- zásobách vody ve sněhové pokrývce
- změnách zásob podzemní vody
- přirozených průtocích vody ve vodních tocích ve vybraných

vodoměrných stanicích

Hydrologická bilanční rovnice má tento tvar:

$$H_S = O_V + O_P + O_Z + O_S + H_{E(p)} + H_{E(r)} + H_{E(t)} + H_{E(v)} \pm \Omega_1 \pm \Omega_2 \pm \Omega_3 \pm \Omega_4 \pm \Omega_5 \text{ [mm]}$$

Rovnice se dá zapsat ve zkráceném tvaru, a to ve tvaru:

$$H_S = O + H_E \pm \Omega$$

kde

H_S – atmosférické srážky

O – odtok vody

O_V - soustředěný povrchový odtok ve vodních korytech

O_P – nesoustředěný plošný povrchový odtok

O_Z – odtok podzemní vody

O_S – odtok do hlubších vrstev

H_E – klimatický výpar

$H_{E(p)}$ – výpar z půdy

$H_{E(r)}$ – výpar z povrchu rostlin (intercepce)

$H_{E(t)}$ – produktivní výpar z rostlin (transpirace)

$H_{E(v)}$ – výpar z vodní hladiny

Ω - množství vody, které zvýšilo/snížilo zásoby povrchové/podzemní vody

Ω_1 – přírůstek/úbytek vody povrchové/podpovrchové

Ω_2 – přírůstek/úbytek vody v nádržích

Ω_3 – přírůstek/úbytek vody v ovzduší

Ω_4 – přírůstek/úbytek vody v biomase rostlinstva

Ω_5 – přírůstek/úbytek vody v biomase živočišstva

$\Omega_3, \Omega_4, \Omega_5$ tyto složky jsou zanedbatelné [11].

Bilance zahrnuje porovnání srážek, přítoků a odtoků vody, změn vodních zásob v povodí nebo vodním útvaru za daný časový interval. K určení bilance slouží dva typy bilančních veličin. Jsou to veličiny, které mají rozměr toků (atmosférické srážky, územní výpar, odtok z povodí, základní odtok z povodí) a veličiny, které mají rozměr zásoby (zásoba půdní vody v zóně aerace, zásoba vody ve sněhové pokrývce, zásoba podzemní vody a zásoba vody v tocích a nádržích). Některé veličiny nejdou s přesností určit, a proto jsou odvozovány podle vztahu k jiným veličinám. Dalšími veličinami, jež nejsou však vstupy ani výstupy rovnice, jsou fyzikální veličiny [2].

Vodohospodářské bilance jsou údaje, týkající se odběrů a vypouštění vod ve větším rozsahu a změn vodních zásob zapříčiněné vodními díly (Němec; Hladný; aspol., 2006).

Vodohospodářská bilance obsahuje zprávy, výstupy o:

- Množství povrchových vod daného povodí za uplynulý rok
- Jakosti povrchových vod zájmového povodí uplynulého roku
- Množství a jakosti podzemních vod v povodí předešlého roku

Vodohospodářské výstupy pak slouží zejména:

- správcům povodí a správcům vodních toků k vydávání stanovisek
- vodoprávním úřadům k rozhodování
- pro plánování v oblasti vod
- pro zjišťování a vyhodnocení kvality vodních toků
- atd. [2]

3.1. Odhad potenciální evapotranspirace

První vypočtenou veličinou z bilanční rovnice bude evapotranspirace. Její měření je významné pro studium toků energie a vody ve vegetaci. Evapotranspirace je slovo složené z evaporation = vypařování a transpiration = vypařování vody z povrchu organismů a znamená celkový výpar.

Pro odhad potenciální evapotranspirace se využívá například výparoměrná metoda. Ta předpokládá, že potenciální evapotranspirace je úměrná výparu z volné hladiny[20]. Metoda má tento výpočetní vztah:

$$H_{et,p} = K \cdot H_E$$

Kde

K – koeficient, charakterizující fyziologické vlastnosti plodin

H_E – klimatický výpar

3.2. Srážko-odtokový proces

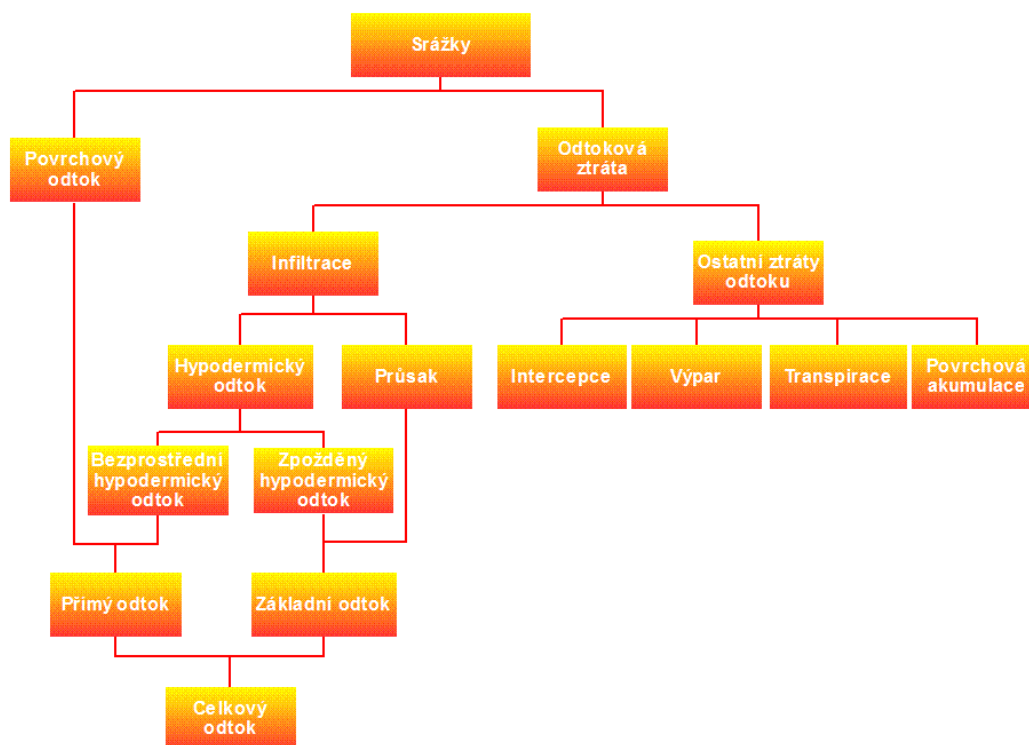
V hydrologickém systému mají největší význam srážky a srážko-odtokový proces. Srážky v jakékoliv formě, nejenže zásobují povodí, ale jsou také příčinou pohybu vody v organických a anorganických složkách vodního systému. Srážko-odtokový proces lze tedy chápat jako charakteristiku dynamiky povodí a variabilitu složek vodní bilance, tj.

srážky nebo celkový výpar. Tento proces však podléhá klimatickým, geografickým, ale i antropogenním činitelům, kteří proces výrazně ovlivňují.

Proces, kdy při dopadu atmosférických srážek na zem, jsou srážky částečně zachyceny florou a částečně se vypaří zpět do atmosféry, se nazývá intercepce. Dopadnou-li srážky na nepropustný povrch, pak se jedná o povrchovou retenci, která je doprovázená výparem nebo povrchovým odtokem. Srážky se mohou při dopadu, infiltrovat do půdního profilu, nebo neustále vypařovat jak z vodní hladiny, tak i ze zemského profilu. Pak se tento jev se nazývá evaporace. Dalšími důležitými pojmy v hydrologii a v hydrologickém cyklu jsou transpirace, neboli výpar z rostlinného pokryvu, a evapotranspirace, čili celkový výpar.

Jestliže intenzita srážek má větší hodnotu než intenzita infiltrace a povrchové retence, dochází k povrchovému odtoku. Podpovrchový neboli hypodermický odtok je závislý na intenzitě srážek, na půdním druhu, vlhkosti a nasycení půdy, objemu podzemní vody a na mnoha dalších faktorech. Odtok se dále dělí na přímý (povrchový a podpovrchový) a základní. Základní odtok dotuje povrchové toky, až po jistém časovém úseku po skončení dešťů v závislosti na vlastnostech kolektorů v povodí. A přímý odtok se vytváří v době trvání dešťů během či bezprostředně po jeho skončení. Přímý odtok způsobuje zvýšení vodních hladin a průtoku Q . V důsledku extrémních fází přímého či povrchového odtoku mohou nastat eroze a povodně.

Srážko-odtokový proces, který je součástí vodního cyklu, se skládá se dvou transformací. Z transformace hydrologické a hydraulické, kdy hydrologická transformace odčítá hydrologické ztráty a hydraulická transformace reprezentuje odtok vody, které dopadlo na zemský povrch jako plošný povrchový odtok až po nejnižší bod povodí (Stiborová, 2010; Hardynová, 2012).



Obrázek 9 Zjednodušené schéma srážko-odtokového procesu převzato z [5]

Na konec si vyjádříme zjednodušený zápis srážko-odtokového procesu.

Srážko-odtokový proces se může vyjádřit jako:

$$H_S = H_V + H_O \pm \Omega$$

$$H_O = H_S - H_V \pm \Omega \quad [\text{mm}]$$

Kde

H_S – množství srážek, které dopadlo na povodí

H_V – množství vody, které se odpaří z povrchu povodí

H_O – množství vody, které odečte nejnižším bodem povodí (uzávěrovým profilem)

Ω – zvýšení/ snížení zásob povrchové a podpovrchové vody

4. Srážko-odtokové modelování

Vstupem do srážko-odtokového systému je ovzdušná srážka a výstupem je odtok nebo odtoková ztráta. Dochází tak k transformaci ovzdušné srážky, která se dělí do dvou podkategorií:

- Hydrologická transformace – transformace ovzdušné srážky na vodní kontinuum
- Hydraulická transformace – pohyb vodního kontinua v čase směrem do nejnižšího místa povodí

Hydrologický model simuluje chování hydrologického systému a dělí se na S-O modely a hydrodynamické modely. První zmiňovaný model simuluje transformaci srážek na odtok dle hydrologických a hydraulických transformačních metod.

Hydrodynamické modely simulují transformaci vodní masy v korytech, v nádržích, stokových sítí a dalších vodohospodářských objektech.

Transformace jsou charakterizovány procesy tj. intercepce, infiltrace, evapotranspirace, hypodermický odtok, povrchový odtok, atd. Mezi nejrozšířenější metodu pro hydrologickou transformaci na povodí je metoda SCS- CN (Unucka, 2014).

4.1. Vstupní data

Pro modelování a analyzování zájmového povodí jsou za potřebí vstupní data. Z hydrologického hlediska se data dělí do dvou základních skupin. První skupinou dat jsou data statická a druhou, data dynamická. Tato data jsou dobře zpracovatelné analyzovatelné v programových prostředcích GIS, které pak data převádějí do forem pro modelování v dalších programových prostředcích. Tento postup zpracování dat se nazývá preprocessing dat. V této bakalářské práci jsou vstupními daty digitální model terénu (DMT), krajinný pokryv Corine Land Cover (CLC), CN křivky, půdní typy, úhrn srážek, průtoky a další hydrografická data (Unucka, 2014).

5. Popis programových prostředků

Programy, které se budou používat pro analýzu povodí Odry, jsou ArcGIS, SAGA GIS a GRASS GIS. Hlavními analýzami téhle bakalářské práce jsou analýzy Wetness Index, metoda pro stanovení efektivních srážek SCS CN, atd.

5.1. Metoda SCS-CN

S metodou Soil Conservation Service- Curve Number, zkráceně SCS-CN, přišla Agentura na ochranu půd. Toto číslo prezentuje odtokovou ztrátu na povodí. Původně byla určena pro menší povodí a funguje na principu sdružení parametrů krajinného pokryvu a hydrologických charakteristik půd.

Povrchový odtok se s pomocí SCS metody odvozuje z rovnice:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)}, \text{ kde}$$

Q – povrchový odtok [mm]

P – srážky [mm]

I_a – počáteční ztráta na povodí, přičemž $I_a = 0,2 \cdot S$ [mm]

S – potenciální retence, má rovnici:

$$S = 25,4 \cdot \left(\frac{1000}{\text{CN}} - 10 \right)$$

Výsledné číslo křivky je závislé na hydrologické skupině půd (řadí se do 4 kategorií, A-D podle mocnosti a hydraulické vodivosti), typu pokryvu a využití území. Číslo křivky se nachází v intervalu hodnot 30-100.

Nasycená půda má značný vliv na hodnoty retence, a na odvození CN křivky. Různý stupeň nasycení půdy, je reprezentován parametrem AMC, do češtiny přeložené

jako předchozí vláhové podmínky. Jsou to bezrozměrné hodnoty, které spravují vztah povrchového odtoku dle srážkového úhrnu z předešlých dnů. Může nabývat hodnot od 0,4 – 2,22 (Unucka, 2014).

Skupina PVP	Celkový úhrn předchozích srážek [mm] za 5 dnů v období	
	mimovegetačním	vegetačním
I	< 13	< 36
II	13 - 28	36 - 53
III	> 28	> 53

Obrázek 10 Rozdělení předchozích vláhových podmínek převzato z (Meduňová, 2012)

Pro výpočet CN křivek jsou důležité také koeficienty krajinného pokryvu, které lze získat z CORINE Land Cover, lesnických dat, atd. HSP, je dílčí částí pro výpočet hodnoty CN křivky. HSP se zjistí z map BPEJ, nebo s pomocí retenčních vodních kapacit a infiltračních schopnostech půd. Tyto metody vyvíjí VÚMOP a ČHMÚ. Metoda výpočtu CN křivky za pomoci GIS bude zmíněná v dalších odstavcích.

Kategorie v mapě BPEJ	Půdní subtyp	Substrát	HSP
01	ČMn,ČMk(ČM,ČMk)	spraš	B
02	ČMi(ČMd)	spraš	B
03	ČMě(ČMi)	spraš, spraš-slín	B (C)
04	ČMr(ČM)	lehké substráty	A
05	ČM	spraš/písek	B
06	ČMp,ČMpc	slín(vylehčení Ap)	C - D
07	ČMp,ČMpc,SMm (ČM,ČMsm)	slín,slinitý jíl	D
08	ČM,HM smyté	sprašové mat,(slín)	B (C)
09	ŠMn(ČMi)	spraš	B
10	HMm,HMě,HMg (HM)	spraš	B

Obrázek 11 Tabulka Bonitované Půdně Ekologické Jednotky převzato z [7]

5.2. ArcGIS

Software ArcGIS, od společnosti ESRI, je geografický informační systém, který se objevil na území České republiky počátkem 90. let. Jedná se o souhrn technických a

programových prostředků, geodat, atd. S GISem se geodata dají zanalyzovat a také vizuálně zobrazit. Geodata jsou data, týkající se určitých míst v prostoru o známé Skládají se z jednotlivých geoobjektů, jenž obsahuje prostorové informace jako je tvar, poloha a topologie. A také neprostorové informace (Rapant, 2009)

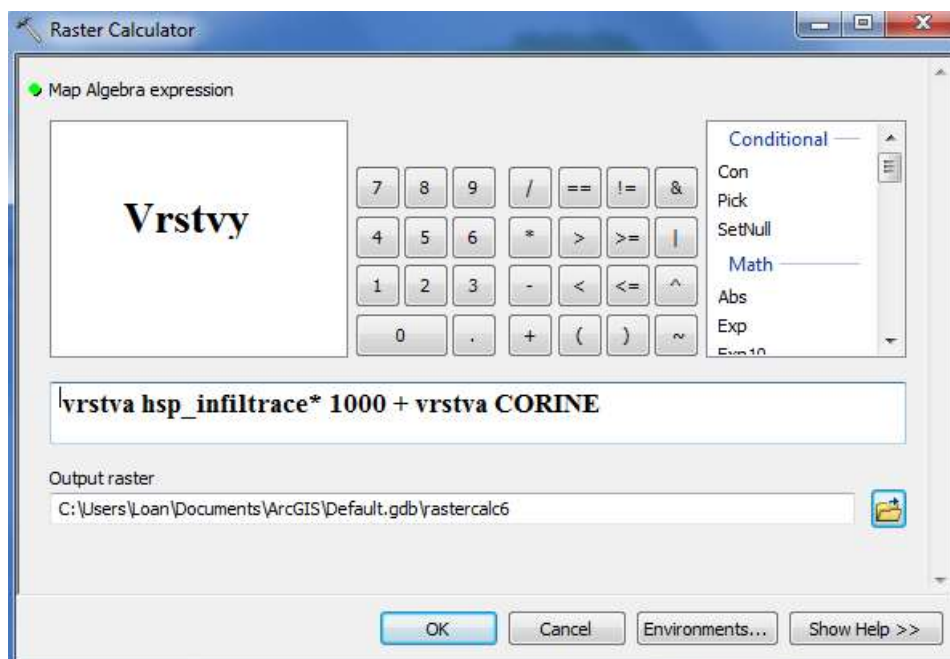
Hlavním důvodem použití GIS v hydrologických analýzách je, že bez tohoto softwaru by nebyla k dispozici vstupní data pro analýzy v dalších programových prostředcích (matematické modelování apod.). Potřebným a také jedním z nejdůležitějších výstupů z GIS je DMT, jehož obsahem jsou hodnoty absolutních nebo relativních výšek zemského povrchu. Z DMT lze získat odvozené vrstvy, mezi základní vrstvy patří sklon terénu, orientace svahů, rast směru odtoku, rastr akumulace odtoku, hustotu říční sítě, atd. Viz. přílohy 1, 2, 3, 4.

5.2.1. Metoda výpočtu CN křivky v GIS

K odvození CN křivek, se musí vytvořit 3 pomocné gridy CN, ty by měly obsahovat informace jak o krajinném pokryvu, tak o hydrologických skupinách půd. V dalších krocích se každý grid reklasifikuje podle tabulky. Vznikne grid rychlosti infiltrace, retenční vodní kapacity a grid sklonu. Poté dle metodiky VÚMOP se zkombinují výsledné gridy CN.

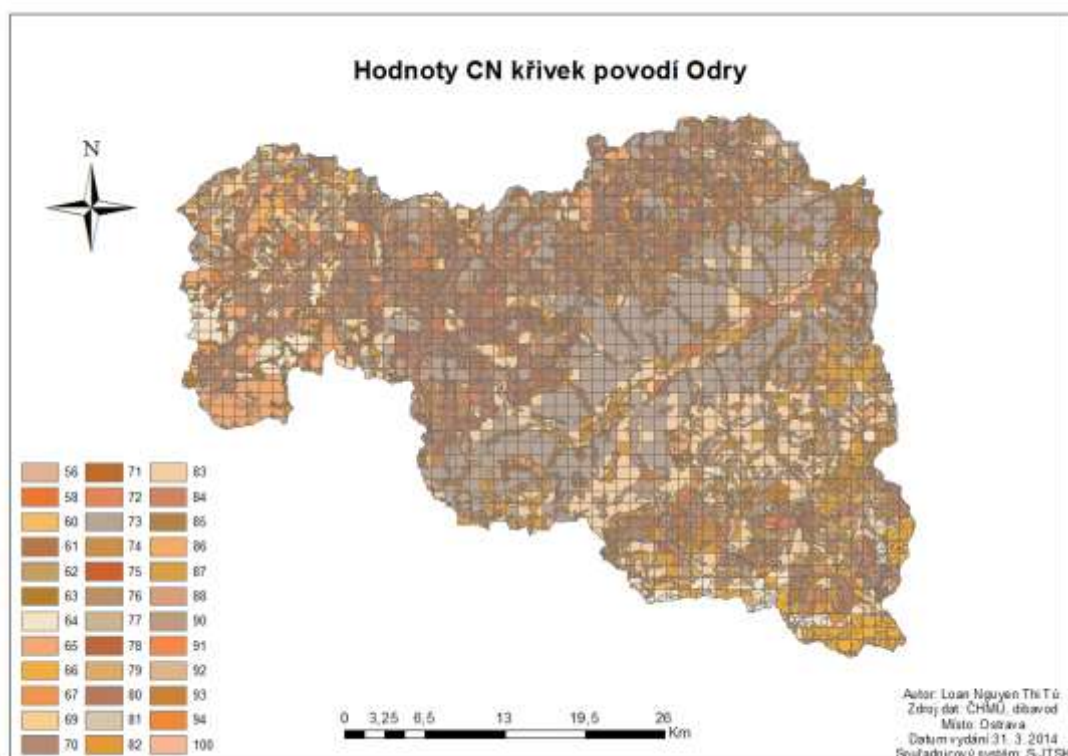
Pro vytvoření se použije modul Spatial Analyst Tools – Map Algebra – funkce Raster Calculator. Grid, který vznikne, má čtyřmístný kód. První číselný údaj je informace, týkající se HSP, zbytek číselných hodnot jsou třídy CORINE Land Cover. Gridy se pak reklasifikují do formátu xls tabulek. Reklasifikace se provádí pomocí modulu Spatial Analyst Tools – Reclass – funkce Reclassify. Čtyřmístný kód se nahradí číslem CN křivky, dle tabulky.

Průměrná čísla odtokových křivek najdeme pod přílohou 9



Obrázek 12 Rastrová kalkulačka pro vytvoření gridu

Aby se vytvořil výsledný CN grid využije se k tomu funkce Cell Statistics, která se nachází v modulu Spatial Analyst Tools. Prvně se vytvoří průměr gridu CN. Jako vstupní data se načtou vrstvy CN v závislosti na infiltraci, a sklonu a RVK. Nyní se z vytvořeného průměrného gridu, vypočítá maximální hodnota, opět pomocí funkce Cell Statistics [17]. Finální krok je výpočet dle již výše napsaného vzorce.



Obrázek 13 Hodnoty CN křivek

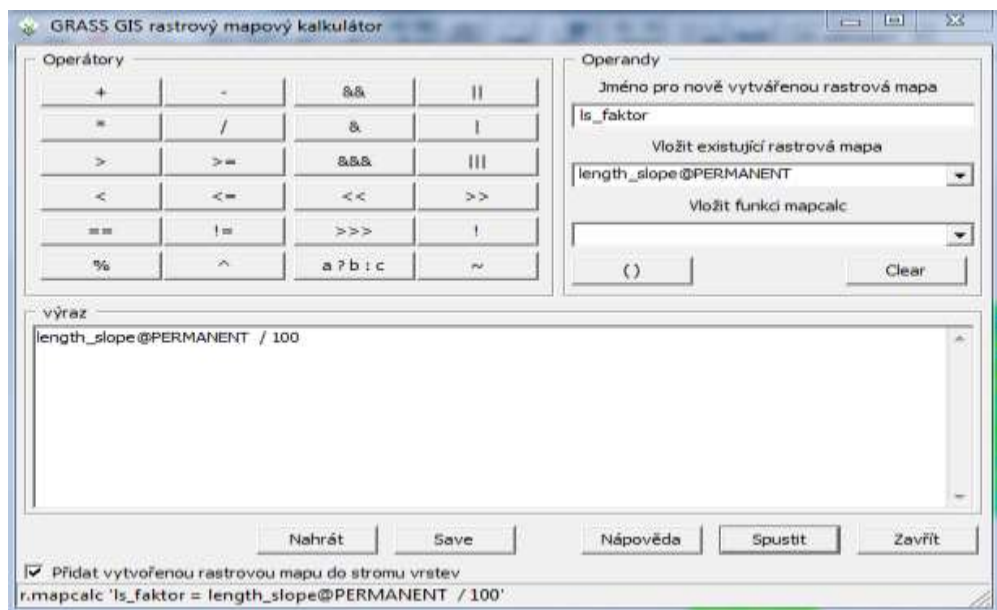
5.3. GRASS GIS

GRASS, neboli Geographical Resources Analysis Support System, je kombinovaný rastrový a vektorový geografický informační systém. Nabízí více než 400 programů a prostředků pro práci s vektorovými, bodovými a rastrovými daty, k tvorbě map jak v digitální, tak i analogové formě, vytváří a ukládá data, atd. Ostatně jako výše zmíněný GIS, lze s GRASS vytvářet srážkoodtokové modely, analýzy povrchového odtoku a jejich dráhy, , analýzy krajiny a krajinné struktury, vymezení povodí, atd. Výstupy mohou být ve formě obrázku nebo jako film ve formátu MPEG [15].

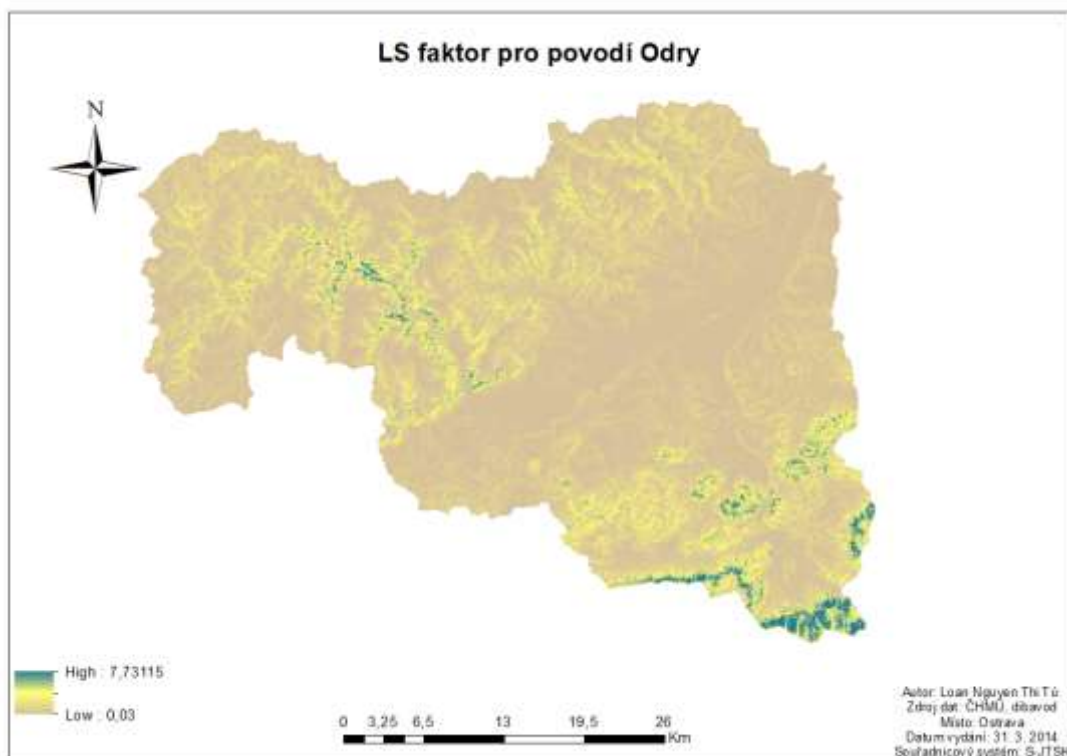
5.3.1. Výpočet LS faktoru

Pro tuto bakalářskou práci se použil GRASS, za účelem vytvoření topografického LS faktoru. Neboli faktor délky svahu (L) a faktor sklonu svahu (S). Tento faktor

poukazuje na vlastnosti povodí z hlediska tvorby a kinetické energie povrchového odtoku a také proto je využíván také v analýzách vodní eroze. Vstupním datem je DMT, který je překonvertovaný do ASCII formátu. Za pomoci modulu r. watershed se získá LS faktor. GRASS násobí faktor LS 100, musí se tedy vyexportovat do jiného formátu a vydělit 100. Rastr se pak převede opět do ASCII, aby se na konec importoval do GIS. LS faktor by měl odpovídat morfologii povodí.



Obrázek 14 Přepočet LS faktoru v rastrové kalkulačce



Obrázek 15 LS faktor

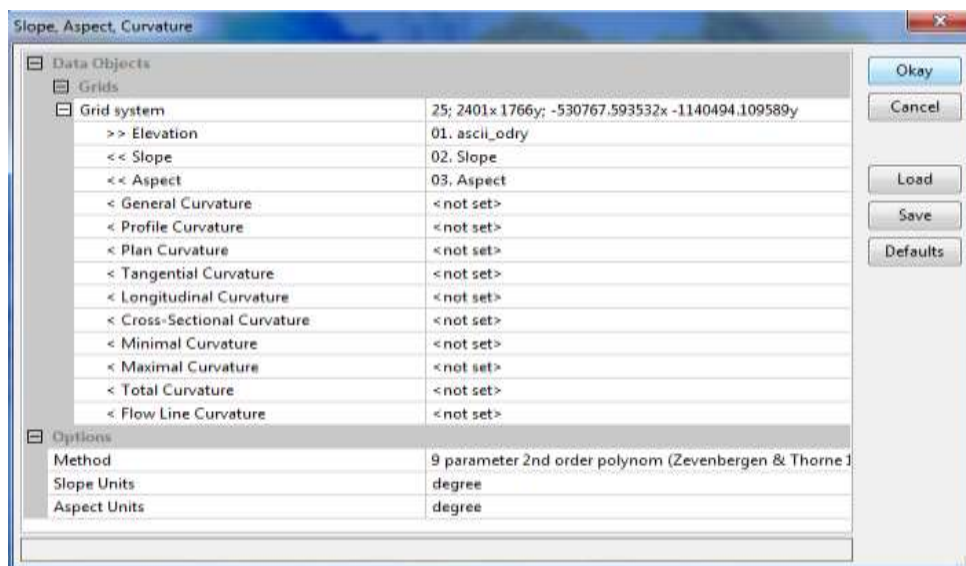
5.4. SAGA GIS

SAGA GIS (System for Automated Geoscientific Analyses) je software, jejímž vývojářem je německá univerzita v Goettingenu. Jedná se o open source nástroj zaměřený na prostorové analýzy nad rastrovými geodaty. Má k dispozici širokou škálu interpolačních algoritmů analytických nástrojů určené pro geomorfologii, hydrologii atd. Rastrová data se ukládají jako obrázky a ještě k tomu se ukládá i tzv. world file. Je to soubor, který definuje geografické souřadnice obrázku [21].

5.4.1. Určení vlhkostního indexu

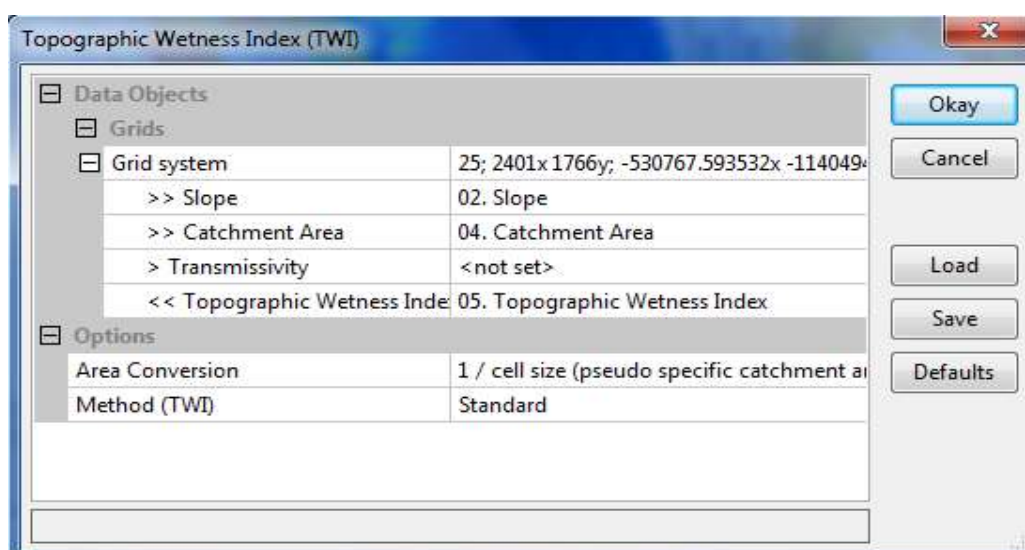
SAGA GIS jsem v bakalářské práci použila k určení topografického a SAGA vlhkostního indexu. DMT se za pomoci funkce Conversion Tools – From Raster – Raster to ASCII překonal do ASCII souboru. V SAGA GIS se DMT nainportovalo pomocí příkazu Import/Export Grids – Import ESRI Arc/Info Grid. Následující krok pro vytvoření

topografického vlhkostního indexu, TWI, byl výpočet sklonu povodí. S pomocí modulu Terrain Analysis – Morphometry – Slope, Aspect, Curvature.



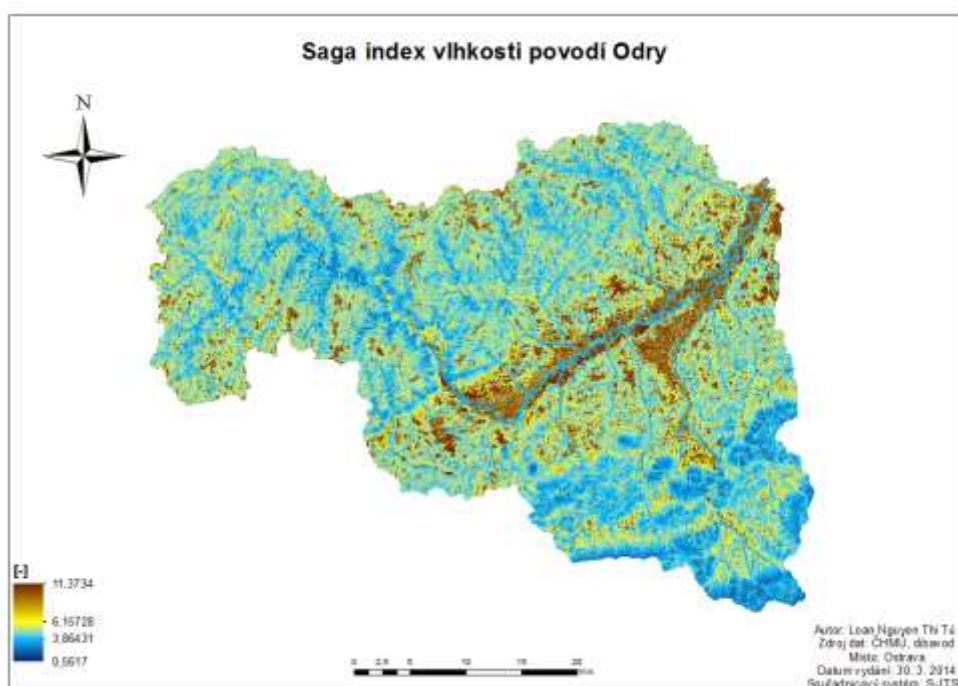
Obrázek 16 Nastavování parametrů pro výpočet sklonu povodí

Poté co se vytvoří rastry, se sklonem a orientací svahů, se spočítá, v modulu Terrain Analysis – Hydrology, funkce Catchment Area (Parallel). Kdy metodou výpočtu je Multiple Flow Direction a convergence má hodnotu 1, linear flow se nezaškrtnává. V posledním kroku, se využije modul Terrain Analysis – Hydrology. Nastaví se potřebné parametry a vyjde nám TWI.

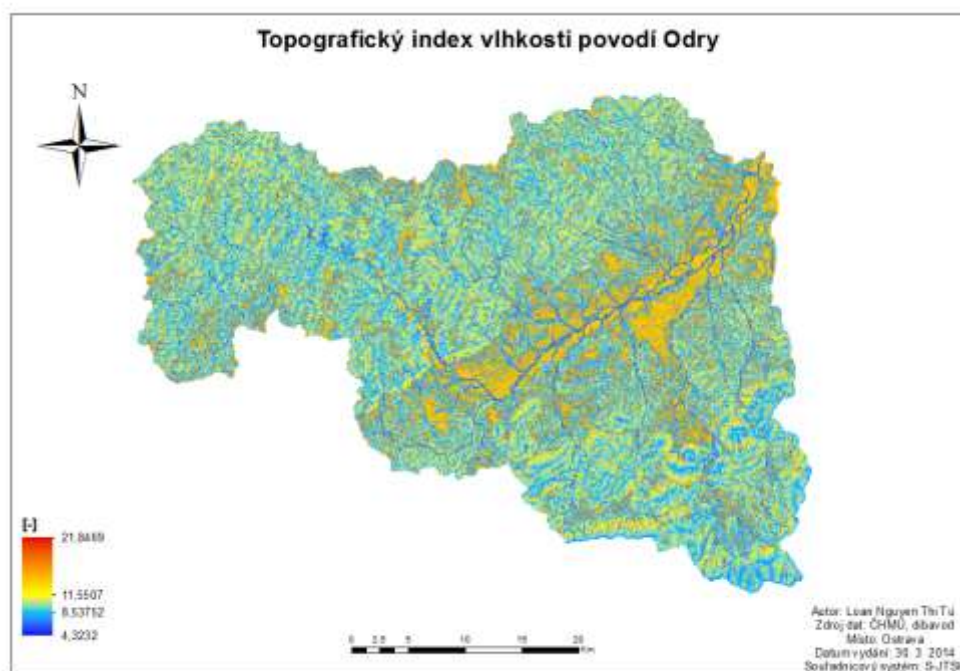


Obrázek 17 Nastavování hodnot pro výpočet TWI

Postup k vytvoření SAGA vlhkostního indexu je o něco snadnější. První krok je však shodný jako při tvorbě TWI. Naimportuje se DMT v ASCII formátu a poté se v modulu Terrain Analysis – Hydrology vypočte SAGA Wetness Index. Tato funkce pak automaticky vypočte i sklon a orientaci svahů. K tomu, aby se výstupy ze SAGA GIS mohly zobrazit v GIS, musí se exportovat jako ESRI Arc/Info Grid. V ArcGIS se výstupy naimportují pomocí Conversion Tools – To Raster – ASCII to Raster.



Obrázek 18 SAGA Vlhkostní index



Obrázek 19 Topografický index vlhkosti

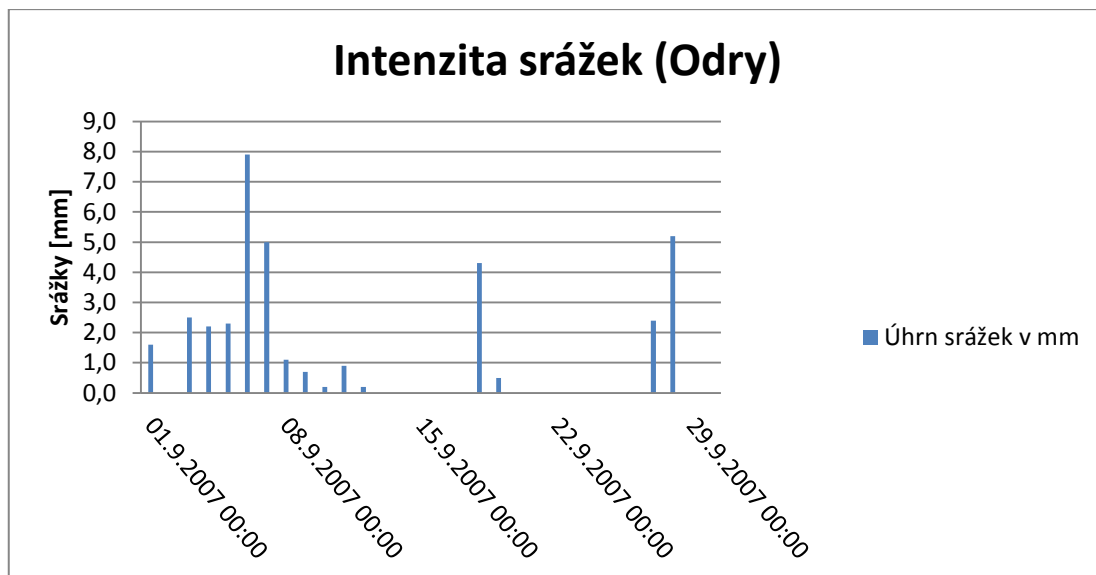
6. Srážko-odtoková epizoda 1. – 30. září 2007

K vypracování byly poskytnuty časové epizody srážek a průtoků řeky Odry ze září roku 2007. Ve formátu xsl. a v excelu se vytvořily grafy pro intenzitu srážek a průtoků na nejružnějších místech v povodí.

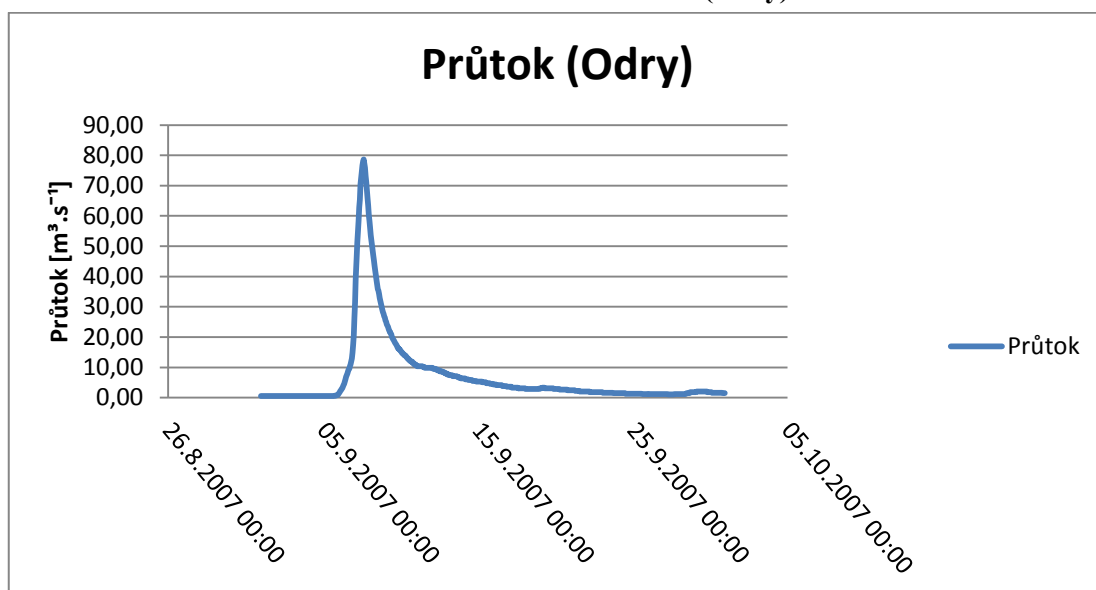
Rok 2007, konkrétně měsíc září, bylo pro povodí, co se teploty týče, podprůměrné. Na srážky byl rok 2007 pro povodí Odry mimořádně nadprůměrné (308% normálu). Průtok na Odře se pohyboval v intervalu 74-84%%. Z grafu lze vyčíst, že první polovina měsíce září, byla bohatá na srážkový úhrn. A to zapříčinilo prudký vzestup vodní hladiny a tenhle fakt ovlivnil i měsíční průtok řek. V první polovině září proběhla nejvýznamnější povodňová situace. Na řece Odře byl dosažen 2. stupeň povodňové aktivity v Bohumíně a Odrách. 3. stupeň povodňové aktivity byl vyhlášen pro oblast Svinov [3].

V prvním týdnu zářijového měsíce, byla zaznamenána výrazná intenzita srážek ve městě Nový Jičín. Další týdny nebyly na srážky až tak výrazně vydatné. V důsledku deště

dosáhl maximální průtok hodnoty $76,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Dne 7. září 2007 byl vyhlášen 2. Stupeň povodňové aktivity. Viz. graf 3 a 4.

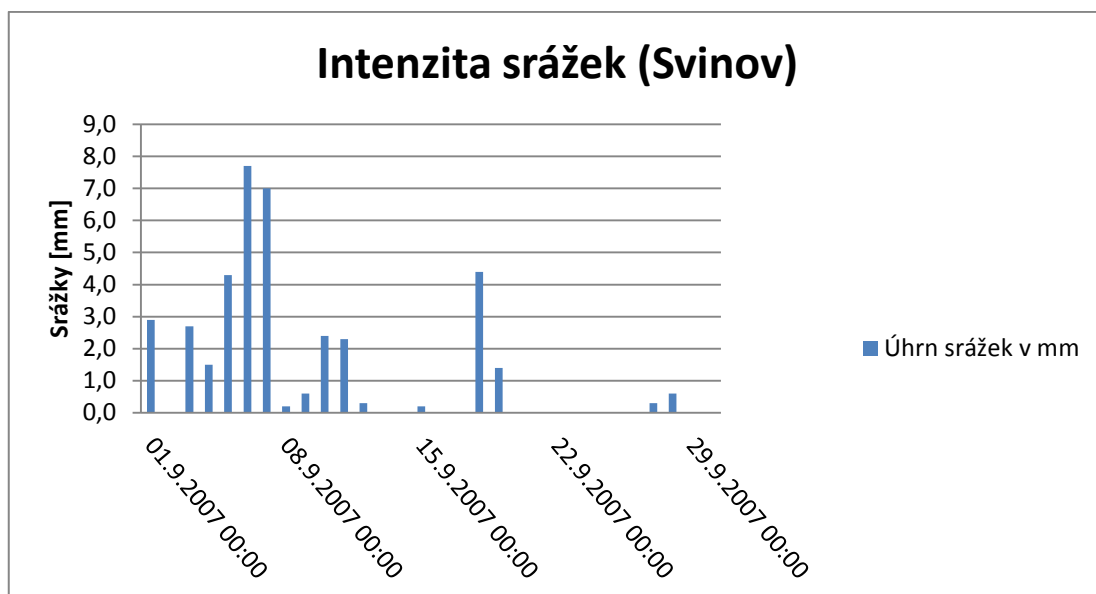


Graf 3 Intenzita Srážek (Odry)

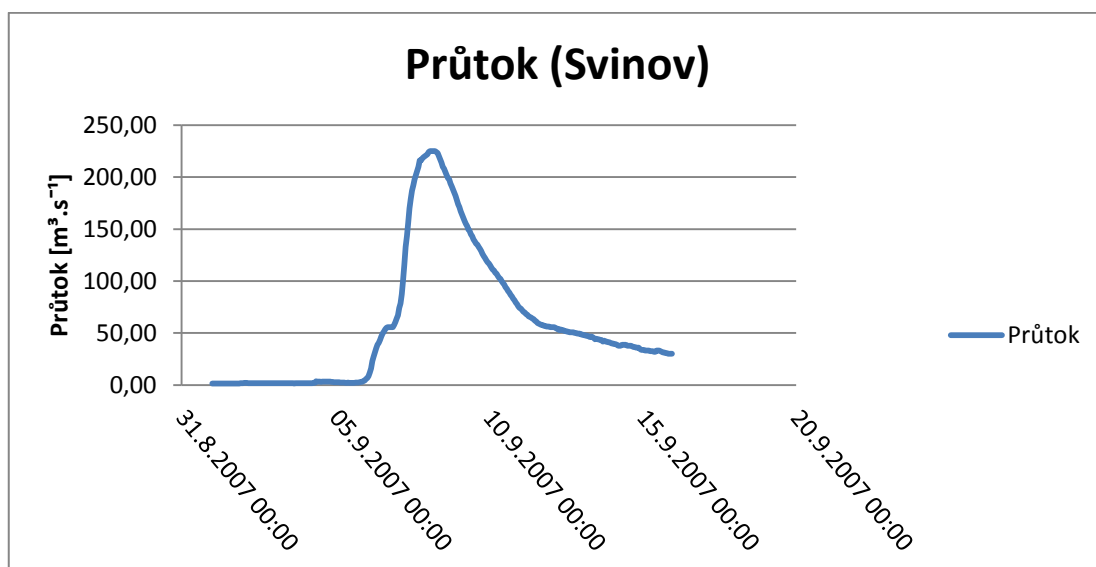


Graf 4 Průtok Odry v Novém Jičíně

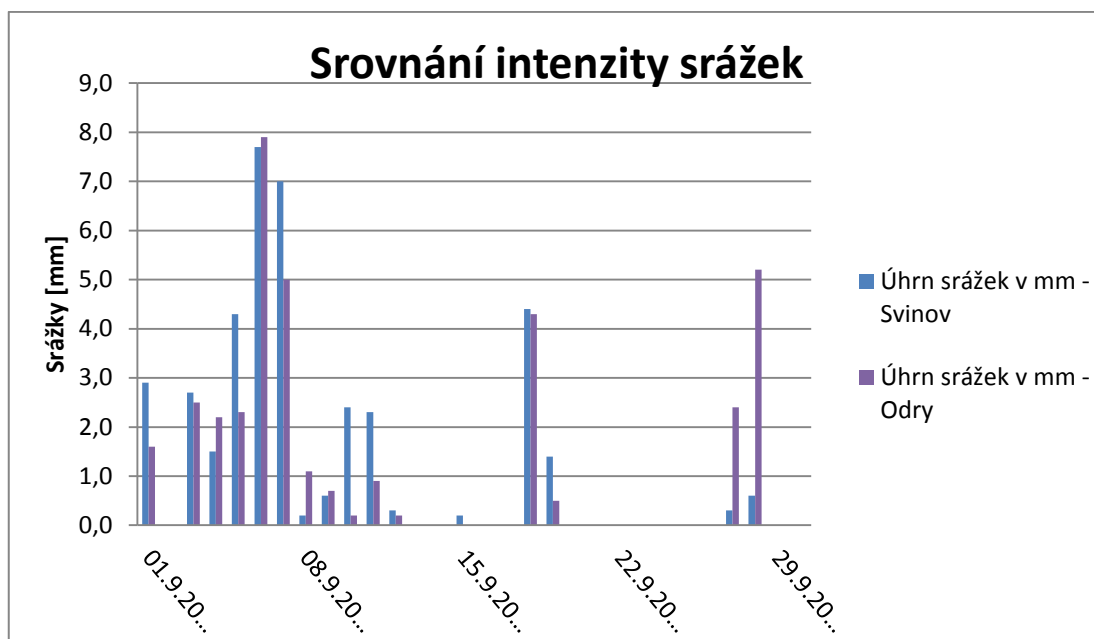
Srážko-odtoková situace ve Svinově byla závažnější. V tomto závěrovém profilu byl naměřen průtok, který dosáhl hodnoty $221 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a vyhlášen 3. Stupeň povodňové aktivity, tedy ohrožení. Maximální průtok byl naměřen v časovém intervalu 00:00-04:00, dne 8. září. 2007.



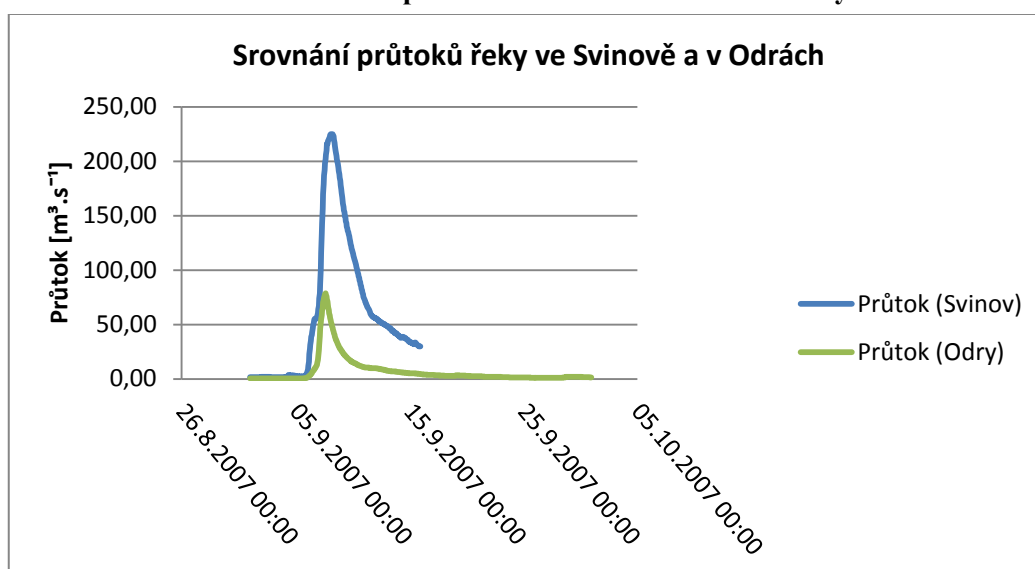
Graf 5 Intenzita srážek (Svinov)



Graf 6 Graf průtoku ve Svinově



Graf 7 Graf pro srovnání srážkové situace Odry-Svinov



Graf 8 Srovnání průtoků Odry-Svinov

7. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo ukázat, že vodní bilanci pro povodí Odry po Opavu, můžeme analyzovat nejen za pomoci ArcGIS, ale také s pomocí jiných přístupů. Ukázalo se, že při výběru nástroje jsou důležitými podmínkami možnost a způsob napojení na GIS. Např. u srážko-odtokových modelů kritérium způsob a schopnost napojení, není nejdůležitější, kdežto u hydrodynamických modelů ano. Pro bakalářskou práci byly využity programy ESRI ArcGIS, GRASS GIS a SAGA GIS.

Hydrologické modely jsou důležité mj. pro stanovení vodní bilance. Bilance se s každým rokem sestavuje za účelem pomoci vodohospodářským organizacím ke stanovení množství vody, které mohou být dodány odběratelům. Díky ní se ví, jaké množství odpadní vody se může vypouštět do řek. Bilance hodnotí podzemní a povrchové vody, výsledky se využijí pro plánování a pro další činnosti, které se týkají vody.

ArcGIS v hydrologických modelech slouží jako nástroj pro předzpracování dat, k nastavování parametrů a rovněž se využívá pro finální vizualizaci výstupů. Práce v ArcGIS je tedy prvním krokem k analýze. Analýzám však předcházelo odvození přírodních podmínek v povodí. Všechny výstupy z tohoto programového prostředí mají mimořádný vliv na vodní bilanci.

GRASS GIS byl použitý pro výpočet morfometrických analýz s pomocí modulů `r.terraflow`, `r.watershed`, `r.topidx` a `r.slope.aspect`.

SAGA GIS umožňoval vymodelování dalších morfometrických analýz, včetně vlhkostních indexů a z toho korelaci topografického vlhkostního indexu a SAGA vlhkostního indexu viz Příloha 8.

Dokázalo se, že s kvalitními daty jsme požadované analýzy schopni provést a dále je využít např. v procesu srážkoodtokového a hydraulického modelování. V úvodu již zaznělo, že programové prostředky GIS jsou s čím dál více využívány. Usnadňují řešení nejrozličnější problematiky a rovněž její vizualizaci. Lze konstatovat, že v rámci realizace bakalářské práce mohu potvrdit, že je to i má vlastní zkušenost.

Informační zdroje

Internetové zdroje

- [1] CENIA.CZ: *CENIA A CORINE Land Cover 2012*. [online]. 2012, [cit. 2014-04-13]. Dostupné z WWW: <<http://www1.cenia.cz/www/node/339>>
- [2] ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV – ÚSEK HYDROLOGIE: *Hydrologická bilance množství a jakosti vody ČR rok 2004* [online]. srpen 2005, [cit. 2014-03-20]. Dostupné z WWW: <http://voda.chmi.cz/opzv/bilance/zprava_bilance_04.pdf>
- [3] ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV: *Hydrologická ročenka České republiky 2007*. [online]. [cit. 2014-04-26]. Dostupné z WWW: <<http://voda.chmi.cz/hr07/obsah/kap2.pdf>>
- [4] DOSTÁL, T.: Ochrana a organizace povodí. Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, ČVUT. [online]. [cit. 2014-04-26]. Dostupné z WWW: http://storm.fsv.cvut.cz/on_line/yoop/PEO_4%20CN.pdf
- [5] GRYGAR, R.: *Geomorfologie – přednášky*. Institut geologického inženýrství, VŠB – TU Ostrava. [online]. Dostupné z WWW: <http://geologie.vsb.cz/geomorfologie/Prednasky/9_kapitola.htm>
- [6] HRNČIAROVÁ, J.: *Dokumentace miocenních sedimentů v okolí cementárny v Hranicích* [online]. 2010, [cit. 2014-03-01]. Dostupné z WWW: <http://is.muni.cz/th/269280/prif_b/reserse.txt>
- [7] JENÍČEK, M.: *Výukové materiály*. Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze. [online]. [cit. 2014-04-13]. Dostupné z WWW: <<http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/download.php?akce=dokumenty&cislo=60>>
- [8] JESENÍKY: *Geomorfologie* [online]. [cit. 2014-03-01]. Dostupné z WWW: <<http://jeseniky.ochranaprirody.cz/charakteristika-oblasti/geomorfologie/>>
- [9] KLIMATICKÉ OBLASTI ČR PODLE QUITTA: *Klimatické oblasti* [online]. [cit. 2014-03-05]. Dostupné z WWW: <<http://janpivec.wz.cz/pivec/004.htm>>
- [10] KOZELSKÝ, P.: *Vznik a vývoj Nizkého Jeseníku* [online]. 2003-2008, [cit. 2014-03-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.nizkyjesenik.cz/seznam/vznikavyvoj/vznikavyvoj.htm>>

- [11] KURÍK, P.: *Hydrologie – Rozšířené sylaby vybraných kapitol pro kombinované (dálkové) studium*. Katedra vodního hospodářství, Česká zemědělská univerzita v Praze. [online]. [cit. 2014-04-05]. Dostupné z WWW: <<http://kurik.petr.sweb.cz/HydrologieI/vybranekapitoly.doc>>
- [12] LYSÁ HORA: *Lysá hora – královna Moravskoslezských Beskyd* [online]. 2014, [cit. 2014-03-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.lysahora.cz/encyklopedie/objekty1.phtml?id=107688>>
- [13] MĚSTO HRANICE: *Základní informace o městě* [online]. [cit. 2014-03-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.mesto-hranice.cz/cs/pro-turisty/>>
- [14] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSŘEDNÍ: *Definice, význam a funkce půdy* [online]. [cit. 2014-03-01]. Dostupné z WWW: <[http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/definice_pudy/\\$FILE/OOHPP-Definice_pudy-20080820.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/definice_pudy/$FILE/OOHPP-Definice_pudy-20080820.pdf)>
- [15] PACINA, J.: *Začínáme s GRASS – VÝUKOVÉ MATERIÁLY*. ZČU Plzeň. [online]. [cit. 2014-03-14]. Dostupné z WWW: <<http://gis.zcu.cz/studium/apa/GRASSTutorial/ch01s01.html>>
- [16] PLÁN OBLASTI POVODÍ ODRY: *Popis oblastí povodí* [online]. 2007, [cit. 2014-03-05]. Dostupné z WWW: <http://www.pod.cz/plan-oblasti-povodi-Odry/a-popis/a-1.html#a_1_2>
- [17] POVODÍ ODRY: *Atlas hlavních vodních toků povodí Odry* [online]. 2012, [cit. 2014-03-01]. Dostupné z WWW: <http://www.pod.cz/atlas_toku/odra.html>
- [18] RAPANT, P.: *Základy geoinformatiky*. Institut geoinformatiky, VŠB-TU Ostrava, 2013/2014. [online]. [cit. 2014-03-14]. Dostupné z WWW: <http://gis.vsb.cz/Rapant/vyukove_materialy/ZS/ZGI/Prezentace/Z_GInf_2013_11.pdf>
- [19] REGIONÁLNÍ GEOLOGIE ČESKÉ REPUBLIKY – SKRIPTA: *Regionální geologie* [online]. [cit. 2014-03-05]. Dostupné z WWW: <<http://geotech.fce.vutbr.cz/studium/geologie/skripta/REGGEOL.htm>>
- [20] ŘEDINOVÁ, J., PAVLÁSEK, J., MÁCA, P.: *Hydrologie – Návod ke cvičením*. ČZU v Praze. 2009, [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z WWW: <http://fzp.czu.cz/~exkurze/_dokumenty/kvhem/skripta.pdf>

[21] SAGA GIS: *Introducing* [online]. [cit. 2014-03-08]. Dostupné z WWW:
<<http://www.saga-gis.org/en/index.html>>

Literatura

- [22] BROSCH, O.: *Povodí Odry*. Anagram, 2005, 323 s. ISBN 80-7342-048-1.
- [23] HARDYNOVÁ, K.: Modelování vlivu změn krajinného pokryvu na povrchový odtok v povodí řeky Jičinky. Ostrava, 2012, Diplomová práce. VŠB-TU Ostrava, 94s.
- [24] CHLUPÁČ, I. A kol: *Geologická minulost České republiky*. Vyd. 1. Academia nakladatelství Akademie věd ČR, 2002, 439 s. ISBN 80-200-0914-0
- [25] JANOŠKA, M.: *Moravská brána očima geologa*. Univerzita Palackého v Olomouci, 1998, 48s. ISBN 80-7067-910-7
- [26] MEDUŇOVÁ, K.: *Porovnání vhodnosti metodik hydrologických modelů pro analýzu vlivu změn krajinného pokryvu*. Ostrava, 2012, Diplomová práce. VŠB – TU Ostrava, 121s.
- [27] NĚMEC, J., HLADNÝ, J. a kol: *Voda v české republice*. Consult Praha, 2006, 255 s. ISBN. 80-903482-1-1
- [28] NĚMEC, J., KOPP, J. a kol: *Vodstvo a podnebí v České republice*. Consult Praha, 2009, 255 s. ISBN 80-903482-7-0
- [29] STIBOROVÁ, L.: Modelování extrémních odtokových situací v povodí Opavy s podporou GIS. Ostrava, 2010, Diplomová práce. VŠB-TU Ostrava, 95s.
- [30] UNUCKA, J.: *Environmentální modelování I*. Vyd. 1. Ostravská univerzita v Ostravě, 2014, 212 s.
- [31] WESSMANNOVÁ, H. a kol: *Ostravsko*. Vyd. 1. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, 2004, 454 s. ISBN 80-860-6467-0

Seznam obrázků

Obrázek 1 Mapa povodí Odry	8
Obrázek 2 Geomorfologické celky povodí Odry	11
Obrázek 3 Geomorfologické členění povodí Odry	11
Obrázek 4 Geologické podmínky povodí Odry	12
Obrázek 5 Vodní toky v povodí Odry	15
Obrázek 6 Klimatické oblasti povodí Odry	17
Obrázek 7 Typy půd povodí Odry	19
Obrázek 8 Krajinový pokryv	21
Obrázek 9 Zjednodušené schéma srážko-odtokového procesu převzato z [5]	27
Obrázek 10 Rozdělení předchozích vláhových podmínek převzato z (DP Meduňová, 2012)	30
Obrázek 11 Tabulka Bonitované Půdně Ekologické Jednotky převzato z [7]	30
Obrázek 12 Rastrová kalkulačka pro vytvoření gridu	32
Obrázek 13 Hodnoty CN křivek	33
Obrázek 14 Přepočet LS faktoru v rastrové kalkulačce	34
Obrázek 15 LS faktor	35
Obrázek 16 Nastavování parametrů pro výpočet sklonu povodí	36
Obrázek 17 Nastavování hodnot pro výpočet TWI	36
Obrázek 18 SAGA Vlhkostní index	37
Obrázek 19 Topografický index vlhkosti	38

Seznam grafů

Graf 1 Hypsografická křivka povodí Odry	14
Graf 2 Krajinový pokryv	20

Graf 3 Intenzita Srážek (Odry)	39
Graf 4 Průtok Odry v Novém Jičíně	39
Graf 5 Intenzita srážek (Svinov)	40
Graf 6 Graf průtoku ve Svinově	40
Graf 7 Graf pro srovnání srážkové situace Odry-Svinov	41
Graf 8 Srovnání průtoků Odry-Svinov	41

Seznam tabulek

Tabulka 1 Klimatické oblasti v zájmovém povodí Odry dle E. Quitta. Převzato a upraveno podle [9].....	17
Tabulka 2 Vysvětlivky ke kódům CORINE převzato z prezentace Ing. Kožaně	22